

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

В. Г. КРЕЙТАН

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ
ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ
ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**



Москва Стройиздат 1980

Печатается по решению секции литературы по строительной физике и конструкциям редакционного совета Стройиздата.

Крейтан В.Г.

К 79 Обеспечение звукоизоляции при конструировании жилых зданий. — М.: Стройиздат, 1980. — 173 с., ил.

Книга посвящена вопросам звукоизоляции в комплексном процессе конструирования жилых зданий, который включает проектирование, экспериментальное уточнение характеристик конструкций и их натурную проверку в домах представителей новых проектов. Рассмотрены пути поиска оптимальных решений звукоизоляции жилища с использованием зависимостей между показателями звукоизоляции и параметрами здания — конструктивными, планировочными, эксплуатационными. Даны практические рекомендации по выбору характеристик конструкций и материалов, обеспечивающих требуемую звукоизоляцию.

Для инженеров-строителей, архитекторов, проектировщиков.

К 30205—419 240—80. 3202000000
047 (01) —80

ББК 38.113
6С1
© Стройиздат, 1980

ПРЕДИСЛОВИЕ

Решениями XXV съезда КПСС предусмотрен значительный рост объема и улучшение качественных показателей жилищного строительства в нашей стране.

Одним из важных качеств жилища, определяющих условия проживания людей, является звукоизоляция помещений. Функция звукоизоляции не ограничивается только снижением интенсивности проникающих в помещение шумов до уровня, допускаемого санитарными нормами, т.е. безопасного для человека, не создающего дискомфорта. Звукоизоляция призвана также обеспечить достаточный уровень обособленности, интимности жилища, что необходимо для нормальной жизни семьи, воспитания детей. Звукоизоляция помещений формируется на всех стадиях создания жилого дома: при проектировании, изготовлении сборных элементов, возведении и отделке здания, монтаже инженерного оборудования. Проектирование здания — первая и решающая стадия. Ошибки, допущенные на этом этапе, в большинстве случаев невозможно исправить на последующих этапах.

При проектировании жилого дома, его деталей и конструкций должен быть сформирован комплекс функциональных и эксплуатационных качеств, которые определяются архитектурно-планировочными и конструктивными решениями, и достигнута технико-экономическая эффективность проекта в целом. В этом комплексе звукоизоляция занимает одно из важных мест. Необходимость обеспечения звукоизоляции помещений решающим образом влияет на выбор параметров таких конструкций здания, как перекрытия, внутренние стены, перегородки, в значительной мере определяет их структуру, стоимость, трудоемкость изготовления.

Требования, выдвигаемые для достижения необходимого уровня звукоизоляции и других функциональных и эксплуатационных качеств дома, не всегда согласуются между собой, а порой вступают в противоречие. В связи с этим оптимизация проектных решений конструкций невозможна без учета требований к звукоизоляции.

С широким развитием строительства по типовым проектам конструирование зданий, в том числе полносборных крупнопанельных, превратилось в комплексный процесс разработки конструкций, включающий в себя проектирование на основе существующих инструктивно-нормативных документов, экспериментальное проектирование, базирующееся на новейших результатах научно-исследовательских работ, экспериментальное уточнение проектных решений, их проверку в домах — представителях новых проектов и корректировку на основе результатов этой проверки. Таким образом, конструирование жилых домов по своей структуре приблизилось к процессу разработки станков, автомобилей и другой промышленной продукции.

Сочетание проектирования с экспериментом особенно важно в тех областях конструирования, где уровень развития теории еще не позволяет решить расчетом все возникающие вопросы. К таким областям относится и звукоизоляция.

В этой книге рассматриваются вопросы конструирования тех элементов жилого здания, звукоизоляционные качества которых регламентированы строительными нормами и правилами, т.е. внутренних ограждающих конструкций. В ней обобщены опыт проектирования и строительства, данные по рассматриваемому вопросу, опубликованные в нашей стране и за рубежом, а также результаты исследований, выполненных автором в Центральном ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательском и проектном институте типового и экспериментального проектирования жилища (ЦНИИЭП жилища) Государственного комитета по гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР.

Глава I

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ НА ЗВУКОИЗОЛЯЦИЮ КОНСТРУКТИВНЫХ И ПЛАНИРОВОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПОИСКЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Под оптимизацией при решении вопросов звукоизоляции подразумевается выбор таких определяющих уровень этой характеристики параметров, которые одновременно позволяют достичь необходимого уровня других эксплуатационных качеств дома при лучших экономических показателях. Когда уровень функциональных и эксплуатационных качеств одинаков, решающим критерием для оценки оптимальности вариантов проектных решений становится их экономичность. Однако требования экономичности не стабильны, их нельзя определить раз и навсегда, так как они зависят от экономической конъюнктуры, общих задач народного хозяйства, обеспеченности различными ресурсами и т.д. Соответственно наряду с требованием минимизации денежных затрат на первый план могут быть выдвинуты задачи экономии трудовых ресурсов, энергии, снижения материалоемкости или массы конструкций и т.п.

Чтобы найти оптимальное решение, нужно иметь возможность быстро оценить большое число проектных вариантов, параметры которых обеспечивают требуемый уровень звукоизоляции. Для этого необходимы достаточно надежные и в то же время простые практические методы расчета звукоизоляции. Лучше всего поставленную задачу можно решить с помощью таких методов расчета, в которых используют непосредственные зависимости нормируемых характеристик звукоизоляции от изменяемых при проектировании параметров конструкций и планировки зданий.

1. НОРМИРУЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ, ИХ СВЯЗЬ С ПАРАМЕТРАМИ, ИЗМЕНЯЕМЫМИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Изоляция воздушного шума конструкцией характеризуется ее звукоизолирующей способностью

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg S/A, \quad (1)$$

где L_1 и L_2 — уровни звукового давления, дБ, соответственно

в помещении с источником шума и в изолируемом помещении;

$10 \lg S/A$ — учитывает влияние на уровень звукового давления в изолируемом помещении площади S , m^2 , конструкции, излучающей звук, и эквивалентной площади звукопоглощения A , m^2 , в этом помещении.

Изоляция ударного шума конструкцией характеризуется приведенным уровнем звукового давления, которое возникает в помещении при работе расположенного на этой конструкции стандартизованного источника ударного шума (ударной машины) [4].

Приведенный уровень ударного шума определяют по формуле

$$L_n = L_y - 10 \lg A_o/A, \quad (2)$$

где L_y — измеренный уровень звукового давления в изолируемом помещении, приведенный к октавной полосе;

A_o — стандартное звукопоглощение, равное $10 m^2$;

A — эквивалентная площадь звукопоглощения в изолируемом помещении.

Звукоизолирующая способность конструкции R и приведенный уровень ударного шума L_n в общем случае меняются с изменением частоты звука. Зависимость величины R или L_n от частоты называется частотной характеристикой. Частотные характеристики R и L_n конструкций жилых зданий определяют в полосах частот шириной в $1/3$ октавы (увеличение на 1 октаву соответствует удвоению частоты звука). Для этого при измерении уровней звукового давления используют электрические фильтры с указанной шириной пропускания. Изображая частотную характеристику графически, по горизонтальной оси в логарифмическом масштабе откладывают значения среднегеометрических частот полос шириной в $1/3$ октавы, а по вертикальной в линейном масштабе — звукоизолирующей способности или приведенного уровня ударного шума в децибелах.

Чтобы оценить звукоизоляционные качества конструкции, нужно сравнить ее звукоизолирующую способность или приведенный уровень ударного шума в каждой полосе частот с требуемыми значениями. Требуемые значения звукоизолирующей способности и приведенного уровня ударного шума, построенные в зависимости от частоты, образуют нормативные частотные характеристики (рис.1).

Звукоизоляционные качества конструкции оценивают с помощью нормативной частотной характеристики следующим образом. Нормативную частотную характеристику сдвигают вертикально относительно ее первоначального положения так, чтобы среднее неблагоприятное отклонение от нее частотной характеристики конструкции было равно 2 дБ при максималь-

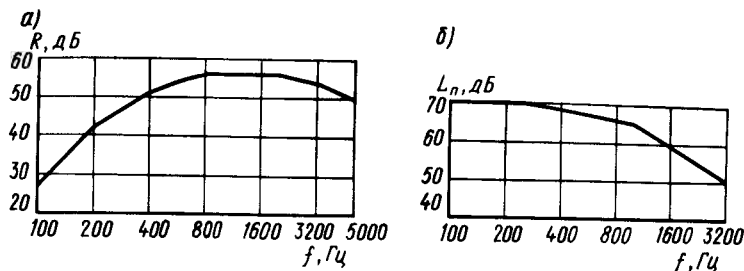


Рис.1. Нормативные частотные характеристики звукоизолирующей способности ограждающей конструкции (а) и приведенного уровня ударного шума (б)

ном неблагоприятном отклонении меньше 8 дБ, либо так, чтобы максимальное неблагоприятное отклонение на любой частоте было равно 8 дБ при среднем неблагоприятном отклонении меньше 2 дБ (неблагоприятными являются отклонения в сторону меньшей звукоизолирующей способности или большего приведенного уровня ударного шума; среднее неблагоприятное отклонение есть сумма всех неблагоприятных отклонений, деленная на число частотных полос, входящих в нормируемый диапазон). Звукоизоляция конструкции оценивается числом, определяющим положение сдвинутой нормативной кривой при выполнении указанных условий. В действовавших до 1978 г. нормах [53] это число называлось показателем изоляции от воздушного шума E_v , или показателем изоляции от ударного шума E_y . Показатель равен целому числу децибел, на которое смещена нормативная частотная характеристика от своего первоначального положения. Если она смещена в сторону большей звукоизолирующей способности или меньшего приведенного уровня ударного шума, показатель имеет знак плюс, если в противоположную сторону — минус. При первоначальном положении кривой оба показателя равны нулю.

В действующих нормах [54] показатели E_v и E_y заменены индексами изоляции воздушного шума I_v и приведенного уровня ударного шума I_y . Между индексами и показателями звукоизоляции существуют следующие соотношения:

$$I_v = 50 + E_v; \quad (3)$$

$$I_y = 70 - E_y. \quad (4)$$

Нормативные значения индексов изоляции воздушного шума I_v составляют, дБ: для стен, перегородок и перекрытий, отде-

ляющих помещения одной квартиры от помещений другой квартиры, а также от лестничных клеток, коридоров и т.п., — 50; для стен, перегородок и перекрытий, разделяющих комнаты внутри квартиры, — 41; для перегородок между комнатами и санитарными узлами одной квартиры — 45; для перекрытий и стен между помещениями квартиры и магазинами — 55; для перекрытий и стен между помещениями квартиры и кафе, ресторанами, спортивными залами и другими "шумными" помещениями — 60. Фактические индексы изоляции воздушного шума должны быть равны или больше нормативных.

Нормативные значения индексов приведенного уровня ударного шума I_N^y составляют, дБ: для перекрытий, отделяющих помещения одной квартиры от помещений другой квартиры, а также от подвалов, холлов, лестничных клеток и т.п., — 67; для перекрытий между комнатами в двухэтажной квартире — 75; для перекрытий, отделяющих помещения квартир от расположенных выше ресторанов, спортивных залов, кафе и других "шумных" помещений, — 50. Фактические значения индексов приведенного уровня ударного шума должны быть равны или меньше нормативных.

Таким образом, нормируемыми характеристиками, определяющими звукоизоляционные качества конструкций жилых зданий, являются их индексы изоляции воздушного шума и приведенного уровня ударного шума. При проектировании необходимо обеспечить нормативные значения этих характеристик, задаваясь определенными конструктивными и планировочными параметрами зданий — геометрическими и физическими.

Связи между нормируемыми характеристиками звукоизоляции и параметрами, изменяемыми при проектировании, многоступенчаты и сложны. Чисто теоретическое выявление таких связей затруднено отсутствием аналитического выражения для определения индекса по известной частотной характеристике звукоизоляции (индекс звукоизоляции находят, как показано ранее, методом последовательных попыток: сдвигая нормативную кривую и проверяя выполнение одного из указанных условий). Теория звукоизоляции дает достаточно сложные выражения зависимости звукоизолирующей способности конструкции или приведенного уровня ударного шума от частоты, а также от геометрических и физических характеристик ограждений. Несмотря на указанные трудности, выявление непосредственных связей между нормируемыми характеристиками (индексами) звукоизоляции и параметрами, изменяемыми при проектировании, возможно на основе анализа теории звукоизоляции и экспериментальных данных. В этой главе рассмотрены такие непосредственные зависимости и основанные на них практические методы расчета, которые используются при проектировании для учета влияния характеристик материалов и конструкций, конструктивной и планировочной структуры здания и других параметров на звукоизоляцию помещений.

2. ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ

Важнейшим параметром ограждающих конструкций, позволяющим классифицировать их в зависимости от характера прохождения звука и формирования звукоизоляционных качеств, является структура ограждения. По этому признаку их разделяют на акустически однородные и акустически неоднородные.

Для конструкций жилых зданий основной вид колебаний, передающих звуковую энергию из одного помещения в другое, — изгибные колебания. От структуры ограждения зависит, колеблется ли оно как единое целое, или отдельные его слои или элементы совершают колебания, различные по амплитуде и фазе.

К акустически однородным ограждающим конструкциям относят однослойные (в том числе с небольшими пустотами) конструкции, а также состоящие из двух или более слоев (элементов) твердых материалов (бетона, кирпичной кладки, раствора, металла, дерева и т.д.), жестко связанных между собой по всей площади ограждения. Такие конструкции колеблются как единое целое либо различиями в колебаниях отдельных их слоев и элементов можно пренебречь.

Пустоты в однослойных конструкциях можно считать "небольшими", если они образуют стенки в виде свода с круговым или близким к нему криволинейным очертанием поверхностей, а также стенки с прямолинейным или пологим криволинейным очертанием поверхностей, удовлетворяющие условию

$$l \leq \lambda_n / 4, \quad (5)$$

где l — длина стенки (в поперечном сечении);
 λ_n — длина изгибной волны в стенке.

К акустически неоднородным относят конструкции из двух или более слоев (элементов) твердых материалов, разделенных воздушным промежутком или звукоизоляционной прослойкой, а также однослойные конструкции с большими пустотами. Отдельные слои или элементы таких конструкций могут совершать изгибные колебания, значительно различающиеся по амплитуде и фазе. Кроме того, при общем изгибном колебании ограждения в отдельных его слоях или элементах основная доля звуковой энергии может передаваться посредством продольных колебаний, например в воздушном промежутке или в звукоизоляционной прослойке.

Звукоизоляционной считается такая прослойка в конструкции, которая благодаря значительной своей деформативности снижает передачу колебаний от одного слоя твердого материала к другому по сравнению с передачей колебаний при жестком контакте слоев между собой.

При изгибных колебаниях одного из твердых слоев конструк-

ции его поверхность перемещается, вызывая деформации и напряжения в звукоизоляционной прослойке.

Напряжение в прослойке и оказываемое ею на второй твердый слой давление пропорциональны величине

$$S = E_d / h_3,$$

где h_3 — толщина звукоизоляционной прослойки;

E_d — динамический модуль упругости материала прослойки.

Указанная величина, называемая линейной динамической жесткостью — важнейшая характеристика звукоизоляционной прослойки, определяющая эффективность последней. Чем меньше линейная динамическая жесткость звукоизоляционной прослойки S , тем в большей степени снижается передача колебаний от одного твердого слоя конструкции к другому. Прослойка с большой линейной динамической жесткостью практически не снижает передачу колебаний. В конструкциях, применяемых в жилых домах, звукоизоляционной считают прослойку, у которой $S < 30 \cdot 10^7$ Па/м.

Прежде чем рассматривать современные теоретические представления о механизме прохождения звука через ограждающую конструкцию и о формировании ее звукоизолирующей способности, рассмотрим некоторые основные понятия, связанные со звуковыми колебаниями воздуха в помещении и изгибными колебаниями плит.

При возбуждении звука в помещении в результате отражений от ограждающих поверхностей звуковые волны движутся в любых направлениях. Создается звуковое поле, близкое к диффузному (диффузным считается однородное поле, в котором падение звуковых волн под любым углом равновероятно). При сложении прямой и отраженной волн, движущихся во встречном направлении, возможно образование стоячих волн. Устанавливающиеся таким образом колебания воздуха называются собственными колебаниями (модами) помещения. Моды несут в себе основную часть звуковой энергии, излучаемой в это помещение источником. На поверхности рассматриваемого ограждения каждая мода образует свою форму распределения звукового давления, которая характеризуется расположением узловых линий и зон наибольшего давления. Переменное давление на поверхности конструкции вызывает ее колебания. Колебания поверхности ограждения, выходящей в изолируемое помещение, вызывают колебания воздуха в нем — происходит излучение звуковой энергии в это помещение.

При ударных воздействиях на конструкцию процесс передачи энергии через нее принципиально тот же. Однако интенсивность колебаний конструкции определяется в этом случае главным образом характеристиками ударного воздействия, а не звукового поля в помещении с источником шума.

Колебания, совершаемые плитой под воздействием внешней переменной силы, например звукового давления, называются вынужденными. Эти колебания совершаются с частотой, равной частоте периодического изменения возбуждающей силы. Колебания, которые плита совершает будучи выведенной из состояния равновесия без дальнейшего воздействия возбуждающей силы, называются собственными. Они могут происходить только на определенных частотах — собственных частотах. Собственные колебания устанавливаются на тех частотах, на которых в результате наложения бегущей волны и волны, отраженной от границы плиты, образуются стоячие волны. Каждой собственной частоте соответствует свое расположение узловых линий и зон наибольшей вибрации на поверхности плиты, т.е. своя форма колебаний плиты.

Собственные колебания плиты носят затухающий характер, что объясняется затратой энергии на преодоление сил трения в материале (внутреннего трения) и на границах плиты. В результате этого механическая энергия колебаний плиты превращается в тепловую и рассеивается. Способность материала преобразовывать и рассеивать энергию механических колебаний характеризуется безразмерным коэффициентом потерь η . Потери звуковой энергии на внутреннее трение, а также потери на границах плиты определяют собой степень ее демпфирования.

При совпадении частоты возбуждающей силы с собственной частотой плиты возникает резонанс, т.е. значительный рост амплитуды колебаний без увеличения возбуждающей силы. При плавном изменении частоты возбуждающей силы амплитуда колебаний растет, достигая максимума в момент совпадения с собственной частотой плиты, а затем уменьшается, образуя резонансный пик. Ширина и высота резонансного пика зависят от демпфирования плиты. Чем больше потери в материале и на границах плиты, тем шире и ниже резонансный пик.

Когда колебания ограждения возбуждаются падающими на него звуковыми волнами, возможно явление волнового совпадения, описанное Л.Кремером [60], который рассмотрел это явление в связи с передачей звука через ограждение, представленное в виде безграничной плиты.

При падении звука на поверхность ограждения под углом расстояние между точками на этой поверхности, в которые следующие одна за другой звуковые волны приходят в рассматриваемый момент времени в одинаковой фазе, равно $\lambda / \sin \varphi$ (где λ — длина волны в воздухе; φ — угол между направлением распространения волн и нормалью к поверхности ограждения). Это расстояние называют следом падающей волны. В колеблющемся ограждении возникает изгибная волна длиной λ_n . Если длина волны в воздухе меньше длины изгибной волны, то при определенном угле падения φ_0 след падающей волны становится равным длине волны изгиба:

$$\frac{\lambda}{\sin \varphi_0} = \lambda_{\text{н}} \quad (6)$$

Распределение звукового давления на поверхности ограждения совпадает с распределением его поперечных перемещений. В этих условиях возникает так называемое волновое совпадение, амплитуда колебаний плиты возрастает.

Длина волны в воздухе $\lambda = c_0/f$ (где c_0 — скорость звука в воздухе). Длину изгибной волны в ограждении определяют по формуле

$$\lambda_{\text{н}} = \sqrt{\frac{2\pi}{f}} \sqrt{\frac{D}{q}}, \quad (7)$$

где D — цилиндрическая жесткость полосы плиты шириной 1 м;
 q — поверхностная плотность плиты.

Минимальную частоту, на которой возможно волновое совпадение, называют граничной частотой $f_{\text{гр}}$. Она соответствует движению звуковой волны по касательной к поверхности ограждения ($\varphi = 90^\circ$).

Граничную частоту волнового совпадения находят из выражения

$$f_{\text{гр}} = \frac{c_0^2}{2\pi} \sqrt{\frac{q}{D}}. \quad (8)$$

Для плиты неограниченных размеров направление движения воздушных звуковых волн в ее плоскости не имеет значения, так как всегда можно принять, что оно совпадает с направлением движения изгибных волн. У прямоугольной плиты (ограниченной в двух направлениях) формы собственных колебаний устанавливаются в результате сложения изгибных волн, перемещающихся в двух направлениях, параллельных сторонам плиты, — x и y . В этих условиях следует рассмотреть более общий случай падения звуковой волны: под углом φ — в плоскости, нормальной к ограждению, и под углом α к оси y , параллельной одной из сторон плиты в плоскости ограждения. Звуковую волну, движущуюся под углом α к оси y , можно представить как сумму двух волн, движущихся в направлениях x и y .

При заданном значении угла падения в плоскости ограждения минимальные частоты, на которых возможно волновое совпадение (граничные частоты) в направлениях x и y , определяют при угле падения $\varphi = 90^\circ$ по формулам:

$$f_{\text{гр},x} = f_{\text{гр}} \sin^2 \alpha \quad \text{и} \quad f_{\text{гр},y} = f_{\text{гр}} \cos^2 \alpha, \quad (9)$$

где $f_{\text{гр}}$ — граничная частота волнового совпадения, определяемая для плиты неограниченных размеров по формуле (8).

Таким образом, при косом в плоскости ограждения падении звука волновое совпадение в прямоугольной плите ограниченных размеров возможно на частотах, меньших $f_{\text{гр}}$.

М.С. Седов показал [45], что наиболее интенсивное увеличение амплитуды колебаний в области волнового совпадения у реальных плит, ограниченных в двух направлениях, происходит только на собственных частотах. Если частота звука совпадает с собственной частотой плиты, а форма собственных колебаний плиты — с формой распределения звукового давления на ее поверхности (т.е. происходит волновое совпадение), то возникает пространственно-частотный резонанс. При совпадении узловых линий формы собственных колебаний плиты с узловыми линиями распределения звукового давления на ее поверхности в двух направлениях возникает полный, а при совпадении их только в одном направлении — неполный пространственно-частотный резонанс. Случай, когда совпадают только частоты, а узловые линии форм колебаний не совпадают, соответствует простому частотному резонансу. Наибольшую высоту резонансный пик амплитуды колебаний имеет при полном пространственно-частотном резонансе, наименьшую — при частотном резонансе.

Решающим фактором, определяющим реализацию пространственно-частотных резонансов, является соотношение рядов собственных частот помещения и ограждения. При малой плотности спектров этих частот вероятность их совпадения, т.е. реализации пространственно-частотных резонансов, мала. Вероятность совпадения увеличивается по мере роста плотности спектров собственных частот.

Влияние параметров акустически однородных конструкций на изоляцию воздушного шума

Первое теоретическое исследование звукоизолирующей способности акустически однородных ограждений выполнено Рэлеем, который рассмотрел нормальное падение звука на пластину неограниченной протяженности. Принятые им условия значительно отличаются от реальных. В дальнейшем теория развивалась в направлении приближения к реальным условиям работы ограждения. Л.Кремер и В.И. Заборов рассмотрели падение звуковых волн под произвольными углами на пластину также неограниченной протяженности. М.Хекль перешел к пластине ограниченной длины и безграничной ширины. М.С. Седов, рассматривая взаимодействие волновых процессов в конструкции и в воздухе помещений, разработал теорию акустически однород-

ных ограждений реальных размеров, ограниченных в двух направлениях. Теоретические исследования в этой области выполнены также А.Мейером, Р.Жоссом и С.Ламуром, Т.Кильманом, М.Бхаттачария и М.Крокером, А.Нильссоном и др.

Условия, принятые Рэлеем, привели к решению задачи о звукоизолирующей способности акустически однородного ограждения в форме так называемого закона массы

$$R = 20 \lg \frac{\pi q f}{\rho_0 c_0} - 5 = 20 \lg q f - 47,5, \quad (10)$$

где q — поверхностная плотность плиты, кг/м^2 ;
 f — частота звука, Гц;
 ρ_0 — плотность воздуха, кг/м^3 ;
 c_0 — скорость звука в воздухе, м/с.

Согласно закону массы звукоизолирующая способность конструкции зависит только от ее поверхностной плотности, т.е. от массы единицы ее поверхности и от частоты звука. Влияние жесткости и демпфирования на звукоизолирующую способность конструкции не учитывается. Удвоение поверхностной плотности конструкции приводит к увеличению звукоизолирующей способности на всех частотах на 6 дБ.

Частотные характеристики конструкций различной поверхностной плотности представляют собой семейство параллельных прямых, имеющих темп роста звукоизолирующей способности 6 дБ на каждую октаву (увеличение звукоизолирующей способности на 6 дБ при удвоении частоты).

Измерения звукоизолирующей способности конструкций показывают, что их частотные характеристики существенно отличаются от таковых, построенных по закону массы. У реальных конструкций вместо равномерного увеличения звукоизолирующей способности во всем диапазоне при росте частоты звука наблюдаются участки с различным темпом ее роста, а также участки, на которых звукоизолирующая способность не увеличивается и даже снижается при повышении частоты звука. Эти отклонения от закона массы можно объяснить при рассмотрении волновых процессов в конструкции и в воздухе помещения с учетом явлений частотного и пространственного резонанса. Очертание частотной характеристики в нормируемом диапазоне определяется, в первую очередь, значениями характерных частот: нижней собственной частоты и граничной частоты волнового совпадения. От них зависит положение в нормируемом диапазоне специфических участков частотной характеристики, каждому из которых соответствует особый механизм прохождения звука и формирования звукоизолирующей способности конструкции. Конструкции из бетона и кирпичной кладки (в дальнейшем называемые массивными) и конструкции из тонких листовых материалов

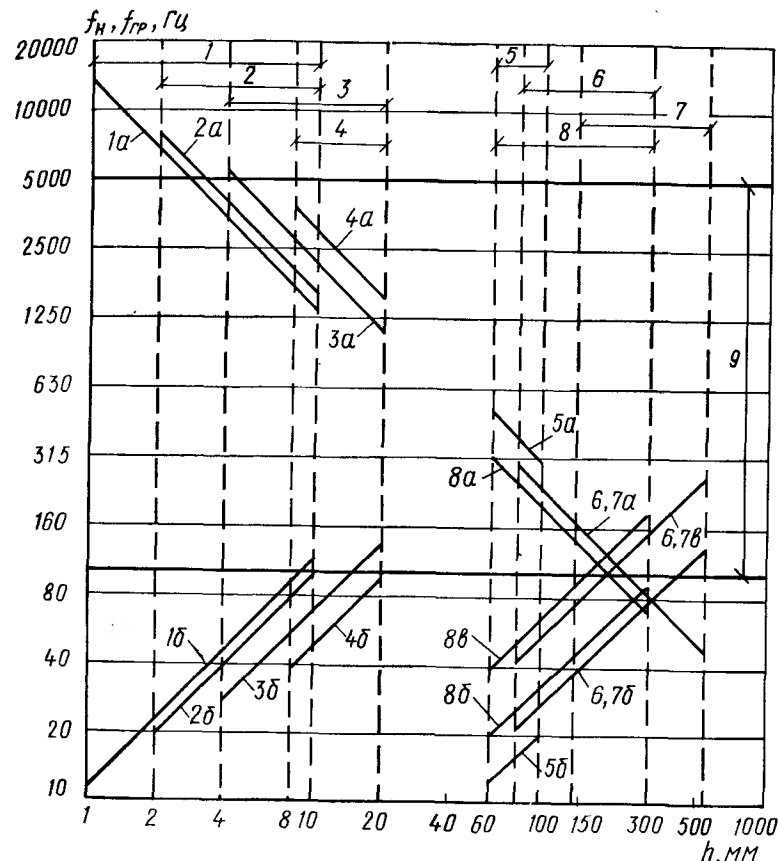


Рис.2. Зависимость нижней собственной f_n и граничной $f_{гр}$ частот от толщины сплошных акустически однородных конструкций

1 — сталь, алюминий; 2 — стекло; 3 — древесноволокнистые, древесностружечные плиты; 4 — гипсовая сухая штукатурка; 5 — гипсобетон; 6 — легкий бетон на пористых заполнителях; 7 — оштукатуренная кирпичная кладка; 8 — тяжелый бетон; 9 — нормируемый диапазон частот; индексы: а — $f_{гр}$, б — f_n при свободном опирании, в — f_n при заземлении на опорах

значительно отличаются друг от друга расположением граничной частоты волнового совпадения $f_{гр}$ относительно нижней собственной частоты f_n конструкции и границ нормируемого диапазона (рис.2). На графике отмечены границы применяемых на практике толщин материалов.

Нижняя собственная частота конструкций из листовых материалов, применяемых обычно в сочетании с несущим каркасом,

определена для пластины размером 1 x 0,5, массивных конструкций — для плиты размером 5 x 2,5 м.

Граничная частота тонких листовых конструкций находится либо за пределами нормируемого диапазона, либо в верхней его части (не ниже 1000 Гц). Низшая собственная частота расположена, как правило, за нижней границей нормируемого диапазона. Дистанция между низшей собственной и граничной частотами у конструкций из листовых материалов составляет от 4 до 10 октав.

Граничная частота массивных конструкций расположена в нижней части нормируемого диапазона (не выше 500 Гц) либо за его нижней границей. Наибольшая дистанция между низшей собственной и граничной частотами составляет около 4 октав. У конструкций толщиной 12 см и более она снижается до 1–2 октав, а у конструкций толщиной 20 см и более граничная частота может быть ниже, чем низшая собственная частота.

Указанные особенности в расположении характерных частот листовых и массивных конструкций определяют существенные различия в характере изменения их звукоизолирующей способности в нормируемом диапазоне частот.

Фактические частотные характеристики листовых конструкций сильно отличаются от зависимостей, построенных по закону массы (рис.3). Наиболее резкие отличия наблюдаются в области, расположенной вблизи граничной частоты конструкции $f_{гр}$. Основной причиной существенного снижения звукоизоляции в этой области являются пространственно-частотные резонансы, увеличивающие амплитуду колебаний конструкции и тем самым передачу звуковой энергии из одного помещения в другое. Наибольшее снижение звукоизолирующей способности по сравнению с законом массы (на граничной частоте) ΔR зависит от плотности спектров собственных частот ограждения и помещения в этой области, определяющих вероятность реализации пространственно-частотных резонансов и их число в 1/3 октавной полосе, а также от демпфирования конструкции, определяющего высоту резонансных пиков. Плотность спектра собственных частот ограждения возрастает по мере удаления от низшей собственной частоты f_n . Отношение $f_{гр} / f_n$ хорошо характеризует плотность спектра собственных частот ограждения в области граничной частоты.

М.Хекль [69] и К.Гезеле [64] предложили определять снижение звукоизоляции на граничной частоте (по сравнению с вычислением ее по закону массы), пользуясь формулой

$$\Delta R = 10 \lg \frac{l}{\lambda_{гр}} + 10 \lg \frac{\pi}{4 \eta}, \quad (11)$$

где l — длина пластины, не ограниченной в одном направлении;
 $\lambda_{гр}$ — длина изгибной волны на граничной частоте;
 η — коэффициент потерь.

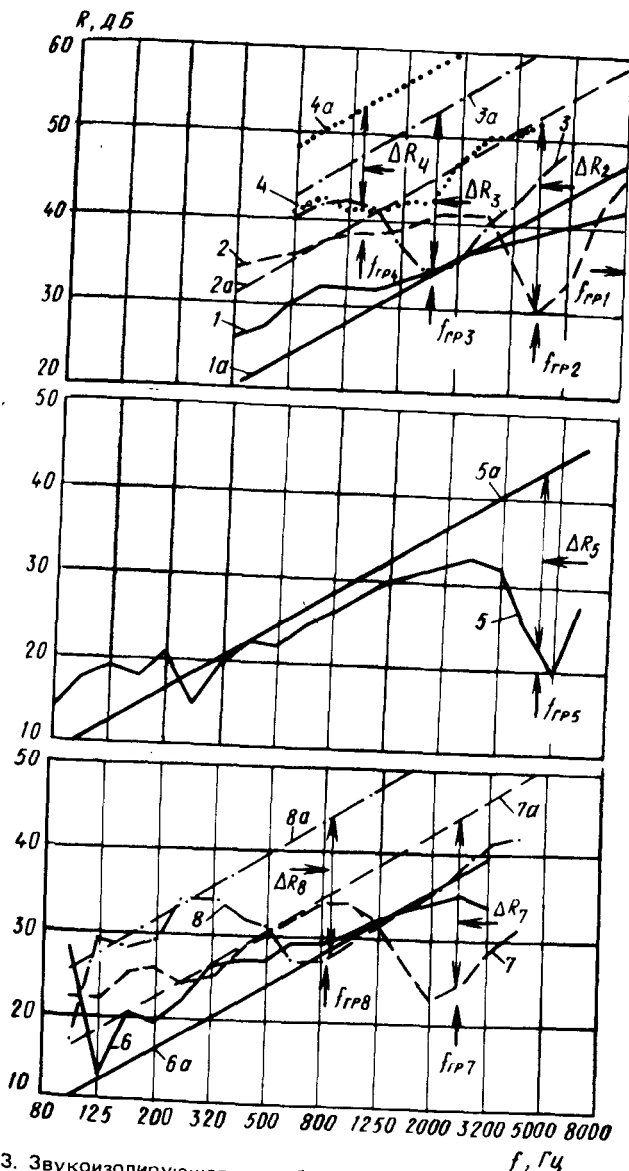


Рис. 3. Звукоизолирующая способность листовых конструкций по данным литературы [2, 64, 74]
 1 — сталь, $h=1$ мм; 2 — то же, $h=3,5$ мм; 3 — то же, $h=8$ мм; 4 — то же, $h=15$ мм; 5 — дюралюминий, $h=3$ мм; 6 — стекло, $h=2,9$ мм; 7 — то же, $h=6,4$ мм; 8 — то же, $h=18$ мм (прямые с индексом a построены по закону массы)

Для плиты, не ограниченной в одном направлении, $\varphi_{\lambda_{гр}} = 0,5 \times \sqrt{f_{гр} / f_n}$. Следовательно, снижение звукоизоляции на граничной частоте ΔR поставлено в зависимость от отношения граничной и нижней собственной частот $f_{гр} / f_n$ и коэффициента потерь, что соответствует описанному механизму прохождения звука через ограждение.

Из рис.3 видно, что по мере снижения $f_{гр}$ уменьшается и величина ΔR . При больших значениях $f_{гр}$ в частотной характеристике образуется "провал"; при значениях $f_{гр} < 1000$ Гц глубина "провала" становится незначительной, и участок частотной характеристики в окрестностях граничной частоты приближается к горизонтальной линии — "плато".

При малых размерах ячейки несущего каркаса листовой конструкции ее низшая резонансная частота приближается к нормируемому диапазону или даже входит в него. По данным В.Н. Бобылева [2], на частотах ниже f_n звукоизолирующая способность конструкции на 15–35 дБ выше, чем по закону массы.

Таким образом, звукоизолирующая способность акустически однородных конструкций из листовых материалов в нормируемом диапазоне определяется положением граничной и нижней собственной частот, числом реализуемых частотных и пространственно-частотных резонансов и высотой возникающих резонансных пиков. В свою очередь указанные параметры зависят от соотношения поверхностной плотности и цилиндрической жесткости конструкции, ее демпфирования, условий закрепления по контуру и от размеров этой конструкции (в плане) и разделенных ею помещений. Лишь на достаточном удалении от f_n и $f_{гр}$ (между ними) закон массы приближенно отражает фактическую звукоизолирующую способность ограждения. Уменьшение граничной частоты листовой конструкции, например, в результате увеличения ее жесткости при заданной поверхностной плотности приводит к уменьшению звукоизолирующей способности ограждения в нормируемом диапазоне частот.

Частотные характеристики звукоизолирующей способности массивных конструкций (из тяжелого, легкого бетона¹ и кирпичной кладки, оштукатуренной с двух сторон) имеют схожие очертания (рис.4). В начале нормируемого диапазона располагается участок с примерно постоянной звукоизолирующей способностью, затем она довольно равномерно возрастает. Первый участок — это плато, образовавшееся вблизи граничной частоты. Теоретическое определение звукоизолирующей способности на граничной частоте затруднено. Для частот, превышающих $f_{гр}$ более чем на две октавы ($f > 4 f_{гр}$), предложены следующие

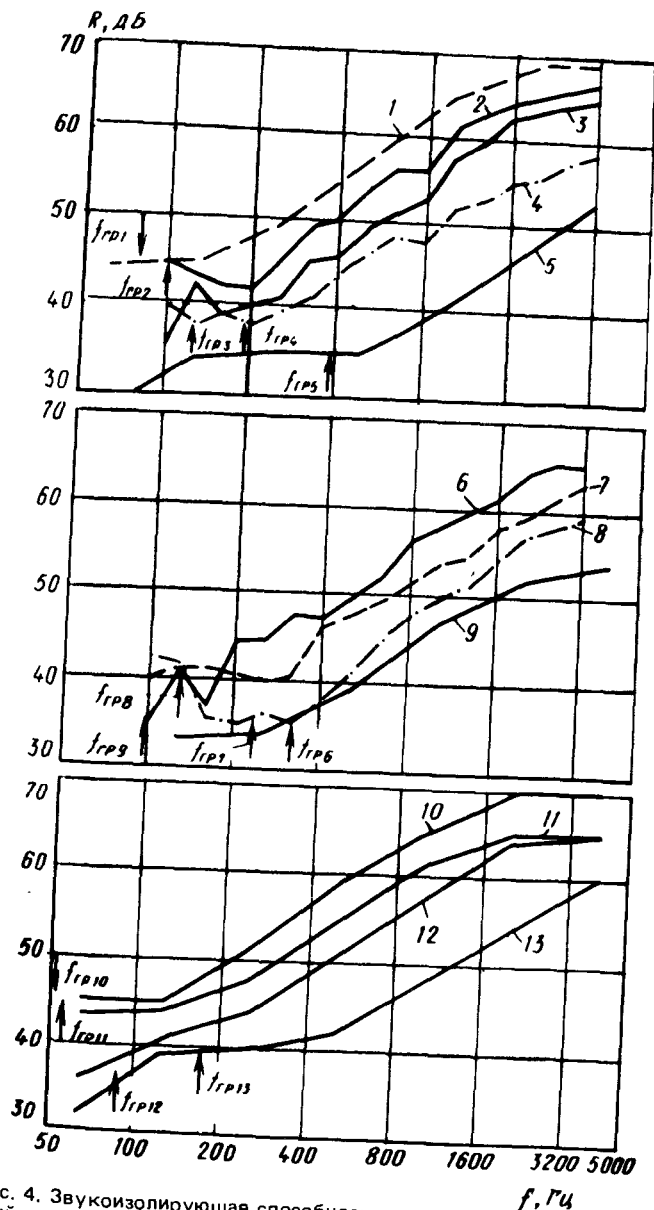


Рис. 4. Звукоизолирующая способность акустически однородных конструкций из тяжелого бетона толщиной 30 см (1), 20,6 см (2), 16,1 см (3), 10 см (4), 5 см (5); из легкого бетона толщиной 20 см (6), 16 см (7), 10 см (8), 8 см (9); из кирпича толщиной 52 см (10), 38 см (11), 25 см (12), 12 см (13)

¹ Здесь и далее "легким бетоном" назван легкий бетон на пористых заполнителях и цементном вяжущем. Другие виды легких бетонов оговорены особо.

аналитические выражения звукоизолирующей способности акустически однородного ограждения:

Л. Кремером [60] на основе рассмотрения безграничной плиты

$$R = 20 \lg \frac{\pi f q}{\rho_0 c_0} + 10 \lg \frac{f}{f_{гр}} - \frac{\eta}{2}; \quad (12)$$

М. Хеклем [69] на основе рассмотрения плиты, ограниченной в одном направлении,

$$R = 20 \lg \frac{\pi f q}{\rho_0 c_0} + 10 \lg 2 \eta \sqrt{\frac{f}{f_{гр}}}. \quad (13)$$

Первые члены правой части обеих формул выражают закон массы, вторые — учитывают расположение граничной частоты, которое определяется соотношением поверхностной плотности и жесткости плиты, и влияние коэффициента потерь материала. Формула (12) дает темп роста звукоизолирующей способности 9 дБ/окт, формула (13) — 7,5 дБ/окт. Уменьшение граничной частоты массивной конструкции, например в результате увеличения ее жесткости при заданной поверхностной плотности, приводит к увеличению звукоизолирующей способности ограждения в нормируемом диапазоне частот.

Ряд авторов предлагают определять звукоизолирующую способность в зоне граничной частоты, подставляя в формулу (12) $f = f_{гр}$. Эта величина оказывается зависимой только от характеристик материала — плотности ρ , модуля упругости E и коэффициента потерь η — и не зависит от толщины сплошной плиты:

$$R_{гр} = 20 \lg \frac{c_0}{\rho_0} \sqrt{\frac{6\rho^3 \eta}{E}}. \quad (14)$$

Такой вывод противоречит результатам эксперимента: с увеличением толщины плиты (с уменьшением $f_{гр}$) звукоизолирующая способность ее в области граничной частоты возрастает (см. рис.4). Это объясняется уменьшением плотности спектра собственных частот плиты по мере приближения $f_{гр}$ к f_n и, следовательно, уменьшением числа реализуемых пространственно-частотных резонансов.

Теория М.С. Седова [45—47] позволяет получать результаты, более близкие к экспериментальным, однако она требует трудоемких вычислений, что несколько затрудняет ее практическое использование.

Трудности использования чисто теоретических методов послужили причиной появления практических методов расчета массив-

ных акустически однородных конструкций. Первый из них предложен Б. Уоттерсом [81]. Им принято идеализированное очертание частотной характеристики звукоизолирующей способности в виде ломаной линии. В области, прилегающей к граничной частоте, расположен отрезок горизонтальной прямой — плато, до и после него — наклонные отрезки прямых. Расчетными параметрами, которые приняты на основе теоретических выводов и экспериментальных данных, являются ордината плато $R_{пл}$, его ширина, привязка плато к граничной частоте и уклоны наклонных участков (дБ/окт).

Б. Уоттерс предложил считать ординату и ширину плато постоянными для каждого материала, а уклоны прямых равными: до плато — 6 дБ/окт, после плато — 10 дБ/окт. Положение расчетной частотной характеристики в нормируемом диапазоне определяется граничной частотой, а форма ее остается неизменной для всех конструкций из данного материала.

При дальнейшем усовершенствовании описываемого метода [37, 50] величину $R_{пл}$ стали считать зависимой от поверхностной плотности конструкции, что учитывает экспериментальные данные. При определении методом расчета [37, 50] индекс звукоизоляции зависит только от поверхностной плотности конструкции. Не учитывается влияние жесткости конструкции, связанное с использованием бетонов, характеризующихся различным соотношением плотности и модуля упругости, а также с применением элементов различных поперечных сечений. Из расчетов последним методом следует, что одинаковую звукоизоляцию имеют конструкции из тяжелого и легкого бетонов при равных поверхностных плотностях. Такой вывод не согласуется с экспериментальными данными (см. п.7).

В главе СНиП II-12-77 [54] приведен вариант рассматриваемого метода построения расчетной частотной характеристики, в котором величина $R_{пл}$ принята зависимой от поверхностной плотности конструкции, а частота, определяющая положение горизонтального участка, — от ее толщины для четырех градаций плотности бетона. Этот вариант расчета частотной характеристики в определенной мере учитывает влияние на звукоизоляцию плотности бетона и формы сечения элемента. Однако он не позволяет учесть влияние изменения модуля упругости бетона при заданной плотности. В результате отсутствия ограничений формы сечения конструкций, для которых можно использовать расчет, создается опасность получения завышенных результатов, например для ребристых плит и плит с большими пустотами.

При проектировании жилых зданий расчетная частотная характеристика звукоизолирующей способности конструкции — только промежуточный этап для определения индекса звукоизоляции, поэтому для проектировщика важно иметь непосредственную зависимость индекса звукоизоляции от поверхностной плотности конструкции.

Для конструкций сплошного сечения из заданного материала можно получить зависимость I_B от q , близко совпадающую с экспериментальной. Подобная зависимость для конструкций сплошного сечения из тяжелого бетона, предложенная автором [9, 19, 39, 49, 54], выражена двумя формулами:

при $50 \leq q \leq 200$

$$I_B = 13 \lg q + 13; \quad (15)$$

при $200 \leq q \leq 1000$

$$I_B = 23 \lg q - 10, \quad (16)$$

где q — поверхностная плотность конструкции, кг/м^2 .

Зависимости (15) и (16) можно использовать для расчета звукоизоляции акустически однородных конструкций из других видов бетонов и других поперечных сечений при условии учета влияния на звукоизоляцию характеристик материала и сечения.

Анализ экспериментальных данных показал, что звукоизоляция конструкций из тяжелого и легкого бетонов одинакова, если равны их граничные частоты. Это позволяет найти простое соотношение между поверхностными плотностями ограждений из тяжелого и легкого бетонов, обеспечивающих равную звукоизоляцию, приравняв выражения их граничных частот:

в общем случае

$$\frac{c_0^2}{2\pi} \sqrt{\frac{q_L}{D_L}} = \frac{c_0^2}{2\pi} \sqrt{\frac{q_T}{D_T}}; \quad (17)$$

для плит сплошного сечения

$$q_T = q_L \sqrt{\frac{E_L}{E_T} \frac{\rho_T^3}{\rho_L^3}}, \quad (18)$$

где величины с индексом "л" соответствуют конструкции из легкого бетона, а с индексом "т" — конструкции из тяжелого бетона.

Поверхностная плотность ограждения сплошного прямоугольного сечения из тяжелого бетона, имеющего одинаковую звукоизоляцию с рассматриваемой конструкцией из другого бетона или другого сечения, названа эквивалентной поверхностной плотностью q_3 [19]:

$$q_3 = k q, \quad (19)$$

где q — поверхностная плотность рассматриваемой конструкции;

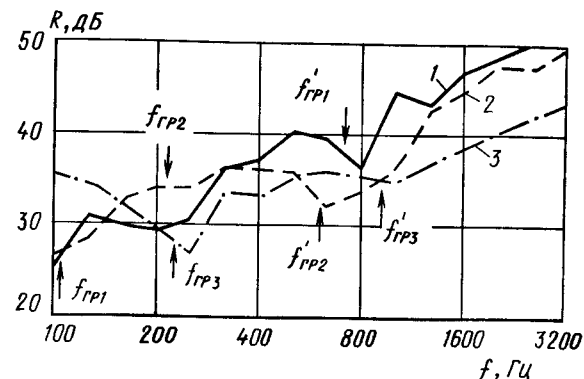


Рис.5. Звукоизолирующая способность ребристых плит

1 — из тяжелого бетона $h = 20$ см, $h_{пр} = 7$ см, $h_{полк} = 3$ см; 2 — то же, $h = 11,5$ см, $h_{пр} = 5,1$ см, $h_{полк} = 1,5$ см; 3 — из керамзитобетона $h = 12$ см, $h_{пр} = 5,8$ см, $h_{полк} = 4$ см

k — коэффициент, учитывающий параметры материала и поперечного сечения конструкции.

После подстановки в подкоренное выражение формулы (18) усредненных характеристик тяжелого бетона: $E = 2,65 \cdot 10^{10}$ Па и $\rho = 2400$ кг/м^3 получаем для конструкций сплошного сечения из легкого бетона

$$k = 0,72 \sqrt{\frac{E}{\rho^3}}, \quad (20)$$

где E — модуль упругости легкого бетона, Па;

ρ — плотность легкого бетона, кг/м^3 .

Таким образом, индекс звукоизоляции I_B акустически однородных легкогобетонных конструкций можно вычислить по формулам (15) или (16), подставляя в них величину q_3 , подсчитанную по формулам (19) и (20). Для определения индекса звукоизоляции I_B конструкций из кирпичной кладки может быть использована предложенная автором эмпирическая зависимость [9]:

при $200 \leq q \leq 1000$

$$I_B = 27,5 \lg q - 69,5, \quad (21)$$

где q — поверхностная плотность конструкции, кг/м^2 .

Акустически однородные конструкции могут иметь кроме

сплошного ребристого или пустотного сечения. Согласно принятому определению ребристые плиты, строго говоря, не являются акустически однородными. Колебания полки ребристой плиты могут отличаться от колебаний плиты в целом. Это сказывается на звукоизолирующей способности ограждения. На рис.5, где показаны частотные характеристики трех ребристых плит, измеренные на испытательном стенде ЦНИИЭП жилища [15], видны плато или провалы в двух областях. Первая соответствует граничной частоте плиты в целом $f_{гр}$, вторая — граничной частоте полки $f_{гр}^I$. Решающее влияние на звукоизолирующую способность ребристой конструкции в нормируемом диапазоне частот оказывает наличие плато или провала в области граничной частоты полки $f_{гр}^I$, поэтому с достаточной точностью индекс звукоизоляции ребристой плиты можно определять как для сплошной плиты из того же материала толщиной, равной толщине полки по формуле (15) или (16).

Плиты с пустотами круглого сечения являются акустически однородными во всем нормируемом диапазоне частот.

На основе анализа экспериментальных данных были определены значения коэффициента k для подсчета эквивалентной поверхностной плотности плит с круглыми пустотами:

из тяжелого бетона

$$k = 1,7 \sqrt{\frac{l}{b h_{пр}^3}}; \quad (22)$$

из легкого бетона

$$k = 1,22 \sqrt{\frac{E}{\rho^3} \left(\frac{l}{b h_{пр}^3} \right)^{0,5}}, \quad (23)$$

где E — модуль упругости легкого бетона, Па;
 ρ — его плотность, кг/м³;
 l — момент инерции сечения плиты с круглыми пустотами;
 b — ширина сечения;
 $h_{пр}$ — приведенная толщина сечения плиты.

Эти же формулы можно использовать для расчета плит с пустотами не круглого сечения, которые удовлетворяют условию (5). В случаях, когда условие (5) не выполнено, например при пустотах овального сечения, вытянутого вдоль поверхности плиты, формулы (22) и (23) неприменимы. Самостоятельные колебания тонких стенок пустот, отличные от колебаний всей плиты, вызывают пространственно-частотные резонансы на высоких частотах, что снижает звукоизолирующую способность конструкции в нормируемом диапазоне.

В рассмотренных выражениях (15), (16) для определения

индекса звукоизоляции конструкций из бетона отсутствует коэффициент потерь η , который стабилен для большинства видов бетона. Изменение коэффициента потерь бетона до 50% не приводит к заметному изменению коэффициента потерь ограждения, который в большей степени зависит от потерь звуковой энергии на его краях. Если приняты специальные меры для повышения коэффициента потерь конструкции по сравнению с величиной η_0 , характерной для ограждений из бетона, это легко учесть.

Из формул (11) — (13) видно, что изменение величины η приводит к одинаковому изменению звукоизолирующей способности конструкции в области, прилегающей к граничной частоте, и на более высоких частотах, т.е. во всем нормируемом диапазоне. Если конструкция имеет коэффициент потерь $\eta > \eta_0$, это можно учесть, прибавив к расчетному индексу I_B поправку:

$$\Delta I_B = 10 \lg \frac{\eta}{\eta_0}. \quad (24)$$

Возможны случаи, когда в акустически однородной конструкции использованы два материала с различными коэффициентами потерь, например, в бетонной конструкции с пустотами, заполненными сыпучим материалом — песком, шлаком, керамзитом и т.д. Коэффициент потерь этих сыпучих материалов примерно в 20 раз выше, чем у обычных бетонов. В подобных случаях результирующий коэффициент потерь конструкции зависит от взаимного расположения материалов, отношения их коэффициентов потерь, модулей упругости и поверхностных плотностей [77, 78]. Как показано ниже, экспериментально установлено, что при заполнении круглых пустот в бетонных плитах песком, шлаком, керамзитом или другим подобным материалом дополнительная звукоизолирующая способность, связанная с повышенным коэффициентом потерь сыпучего материала, может быть учтена поправкой $\Delta I_B = 1,5$ дБ к расчетному индексу I_B .

Влияние параметров акустически неоднородных конструкций на изоляцию воздушного шума

Передача звука через акустически неоднородные ограждения исследована теоретически А.Лондоном, М.Хеклем, В.И. Заборовым, Р.Жоссом и др. Значительные трудности, возникающие при решении этой задачи, вынуждали исследователей использовать те или иные упрощения — рассмотрение плит неограниченной протяженности в одном или двух направлениях, пренебрежение массой звукоизоляционной прослойки и волновыми процессами в ней, исключение жестких связей между элементами ограждения

и т.д. В этих условиях особое значение имеют результаты экспериментальных исследований, которые позволяют оценить правильность теоретических зависимостей и уточнить области их применимости.

При теоретическом рассмотрении звукоизолирующей способности акустически неоднородного ограждения ее чаще всего представляют как сумму звукоизолирующей способности акустически однородного элемента R_0 и ее изменения ΔR , вызванного акустической неоднородностью ограждения

$$R = R_0 + \Delta R. \quad (25)$$

При этом величина R_0 может быть звукоизолирующей способностью одного из элементов конструкции (обычно более массивного) или акустически однородного ограждения, поверхностная плотность которого равна полной поверхностной плотности рассматриваемой конструкции.

Наиболее простой для теоретического рассмотрения случай, когда два элемента ограждения разделены слоем воздуха или звукоизоляционного материала и не имеют между собой жестких связей. Первым приближением (первая модель) в этом случае может служить система из двух масс (m_1 и m_2), соединенных безынерционной пружиной, которая характеризуется линейной жесткостью K . Важнейшим параметром такой системы является ее низшая собственная частота

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{K \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}. \quad (26)$$

Если возбуждать колебания массы m_1 переменной силой, то на частотах, значительно меньших f_0 , они передаются массе m_2 так, как если бы две массы были жестко связаны между собой. В области частот, близких к f_0 , возникает явление резонанса, и амплитуда колебаний системы резко возрастает без увеличения возбуждающей силы. На более высоких частотах происходит уменьшение колебаний массы m_2 , по сравнению с колебаниями массы m_1 , в тем большей степени, чем выше отношение f/f_0 .

Для двойной ограждающей конструкции формулу (26) можно переписать в виде

$$f_0 = 0,158 \sqrt{S \left(\frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} \right)}, \quad (27)$$

где S — линейная динамическая жесткость прослойки между двумя элементами ограждения, Па/м:

$$S = E_d/h_3 \quad (28)$$

(здесь E_d — динамический модуль упругости материала звукоизоляционной прослойки или воздуха, Па;

h_3 — толщина прослойки, м;

q_1 и q_2 — поверхностные плотности первого и второго элементов, кг/м²).

Низшая собственная частота — один из основных параметров, характеризующих взаимодействие элементов акустически неоднородной конструкции.

Более сложная модель акустически неоднородного ограждения состоит из двух разных по сечению плит неограниченной протяженности с непрерывно распределенными по поверхности упругими поперечными безынерционными связями (вторая модель) [5]. Рассматривается косое падение звуковых волн на ограждение.

В третьей модели дополнительно учитывается плотность (инерционность) упругого слоя, который создает только поперечную связь между плитами [5].

В результате рассмотрения описанных теоретических моделей выявлены следующие зависимости изменения звукоизолирующей способности ΔR неоднородного ограждения по сравнению со звукоизолирующей способностью одного из составляющих его однородных элементов на частотах, достаточно удаленных от низшей собственной частоты ($f > 2f_0$).

Согласно первой модели, ΔR зависит только от частоты и растет с темпом 12 дБ/окт. Такой же результат получается и по второй модели, если граничные частоты обеих составляющих плит выше рассматриваемого диапазона. Если граничные частоты плит расположены ниже рассматриваемого диапазона, то, согласно второй модели, при том же темпе роста ΔR с увеличением частоты на его значении сказывается влияние соотношения граничных частот плит (если они неодинаковы) и коэффициента потерь материала (если плиты одинаковы).

Согласно третьей теоретической модели, ΔR растет при увеличении частоты с темпом 6 дБ/окт. На величину ΔR оказывают влияние также отношение поверхностных плотностей одной из плит и упругого слоя или воздушного промежутка и коэффициент потерь материала [5].

Степень соответствия теоретических выводов экспериментальным данным можно установить, рассмотрев результаты испытания [72] ограждения, состоящего из двух гипсобетонных плит толщиной 7 см каждая, разделенных промежутком толщиной 4 см (рис.6). Величина ΔR есть разность звукоизолирующих способностей, полученных при испытании описанной акустически неоднородной конструкции R и одной из составляющих ее плит R_0 . Первая серия испытаний выполнена в специальных акустических камерах таким образом, что плиты не имели между собой

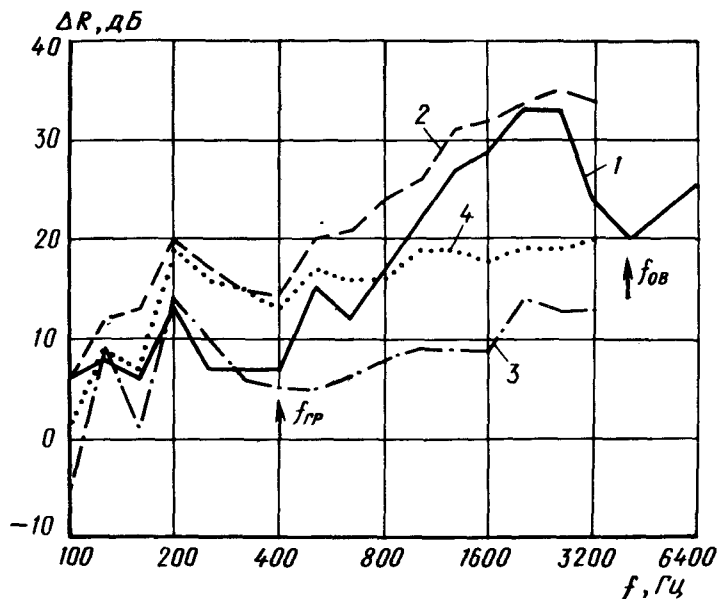


Рис.6. Увеличение звукоизолирующей способности двойного ограждения по сравнению с одинарным

1 — без жестких связей между плитами, воздушный промежуток не заполнен; 2 — то же, воздушный промежуток заполнен минеральной ватой; 3 — с жесткими связями по контуру плит, воздушный промежуток не заполнен; 4 — то же, воздушный промежуток заполнен минеральной ватой

жестких связей (кривые 1 и 2 на рис.6). Это соответствует рассмотренным теоретическим моделям.

Испытано два варианта конструкции — с воздушным промежуток и с промежуток, заполненным минеральной ватой. Низшая собственная частота ограждения составляет около 60 Гц и расположена вне нормируемого диапазона. Общий рост величины ΔR на участке от 100 до 2500 Гц составляет 27–29 дБ или в среднем около 6 дБ/окт, что согласуется с выводами, полученными при рассмотрении третьей теоретической модели.

В зоне граничной частоты плиты наблюдается резкое уменьшение величины ΔR , особенно когда плиты разделены воздушным промежуток. Объясняется это тем, что в области пространственно-частотных резонансов, прилегающей к области граничной частоты, звуковые волны, прошедшие через первую плиту, могут распространяться в воздушном промежуток под любыми углами. Они вызывают пространственно-частотные резонансы второй

плиты. В результате этого усиливается прохождение звука через ограждение и снижается величина ΔR .

Второй резкий спад величины ΔR на высоких частотах у конструкции с воздушным промежуток объясняется резонансом объема воздуха, находящегося между плитами. Резонанс наступает в том случае, когда толщина промежуток равна или кратна половине длины звуковой волны в воздухе. Низшая резонансная частота в рассматриваемом случае $f_{ов} = 4250$ Гц.

При заполнении промежуток между плитами минеральной ватой спады величины ΔR , вызванные пространственно-частотными резонансами плит и резонансом воздуха в промежуток, значительно смягчены. Объясняется это поглощением минеральной ватой энергии воздушных звуковых волн, образующихся в промежуток.

Вторая серия испытаний проведена с теми же двойными стенами, но между их элементами была жесткая связь через примыкающие конструкции (кривые 3 и 4 на рис.6). В этих случаях часть звуковой энергии передается от одного элемента ограждения другому через примыкающие конструкции, происходит также косвенная передача звука по ним. На частотах, меньших граничной, жесткая связь между элементами сравнительно мало влияет на величину ΔR . На более высоких частотах происходит нарастающее уменьшение ΔR под влиянием жестких связей. В этом диапазоне зависимость ΔR от частоты выражена слабо. С определенным приближением величину ΔR можно считать независимой от частоты. Влияние резонансов в воздушном промежуток становится незаметным, так как большая часть звуковой энергии на этих частотах передается через примыкающие конструкции.

Таким образом, жесткая связь между элементами акустически неоднородного ограждения и косвенная передача звука по фланговым конструкциям коренным образом меняют зависимость его звукоизолирующей способности от частоты, поэтому теоретические результаты, полученные на моделях, не учитывающих связи между элементами акустически неоднородного ограждения и косвенную передачу звука, не применимы к реальным конструкциям.

Акустически неоднородная конструкция, не имеющая (при правильном устройстве) жестких связей между элементами, — это перекрытие с отдельным полом на звукоизоляционной прослойке. Однако в этом случае существует косвенная передача звука по стенам (см. п.3). В связи с тем, что влияние всех факторов, определяющих звукоизоляцию помещений при такой конструкции перекрытия теоретически учесть трудно, разработаны практические методы расчета [9, 19, 37, 54].

Метод [37] основан на предпосылке о доминирующем влиянии на звукоизоляцию помещения косвенной передачи звука. Поправка ΔI_g , учитывающая изменение индекса звукоизоляции

в результате устройства пола, поставлена в зависимость только от соотношения параметров элементов несущей части перекрытия и внутренних стен и перегородок (их поверхностной плотности, толщины и скорости продольных волн в конструкции). Если перекрытия и стены выполнены из одного материала, то величина ΔI_B зависит только от отношения их толщин. Таким образом, улучшение звукоизоляции, получаемое в результате устройства пола, оказывается независимым от параметров самого пола, что не согласуется с экспериментальными данными. Опыт показывает, что различие в индексах звукоизоляции, получаемых при устройстве разных полов на одинаковой несущей конструкции перекрытия и при одинаковых стенах, достигает 6–8 дБ. Величины ΔI_B для перекрытия с раздельным полом и несущей железобетонной плитой толщиной 16 см, подсчитанные при толщине стен В и 32 см, отличаются всего на 1,2 дБ. Таким образом, улучшение изоляции воздушного шума в результате устройства раздельного пола, рассчитываемое по методу [37], оказывается мало зависимым также от параметров, определяющих интенсивность косвенной передачи звука.

Практический метод расчета [9, 19], предложенный автором, учитывает влияние на изменение индекса изоляции воздушного шума в результате устройства пола параметров, определяющих интенсивность косвенной передачи звука по стенам, и параметров пола. Он основан на расчетно-теоретическом анализе влияния этих двух групп параметров и обобщении результатов экспериментального исследования. Согласно этому методу, изменение индекса изоляции воздушного шума в результате устройства пола на звукоизоляционной прослойке определяют по формуле

$$\Delta I_B = \frac{\Delta_B (I_B^K - I_B^{H.ч} + 2)}{0,5 I_B^K - 15} - 3, \quad (29)$$

где Δ_B — величина, определяющая звукоизоляционную эффективность пола;
 $I_B^{H.ч}$ — индекс изоляции воздушного шума несущей частью перекрытия;
 I_B^K — индекс изоляции воздушного шума при условии передачи звука только косвенным путем по стенам:

$$I_B^K = I_{B.ср}^c + 10 \lg \frac{1}{\tau} - 10 \lg \frac{S^c}{S^n}, \quad (30)$$

где $I_{B.ср}^c$ — средний индекс изоляции воздушного шума несущими стенами, на которые опирается перекрытие;
 τ — коэффициент передачи вибрации от стены в помещении

с источниками шума стене в изолируемом помещении (см. п.3) (при расчете τ принимают равным 0,05);
 S^n и S^c — соответственно площади перекрытия и несущих стен, на которые оно опирается (отношение площадей стен и перекрытия S^c/S^n при малом шаге несущих стен принимают равным 2; при большом шаге — 1,25).

Анализ формул (29) и (30) показывает, что при заданной звукоизоляционной эффективности пола значение ΔI_B уменьшается с увеличением влияния косвенной передачи звука, т.е. с увеличением $I_B^{H.ч}$, τ , S^c/S^n и с уменьшением $I_{B.ср}^c$. Зависимость величины Δ_B , которая является мерилем звукоизоляционной эффективности пола, от его конструктивных параметров аппроксимирована выражением

$$\Delta_B = \Delta_{B1} + \Delta_{B2}, \quad (31)$$

$$\text{где } \Delta_{B1} = 10 \lg \left(\frac{650}{f_0} \sqrt{\frac{q_{\text{полн}}}{q_1} - \frac{h_{c.п.}}{2}} \right) \quad (32)$$

(при $30 \text{ Гц} \leq f_0 \leq 400 \text{ Гц}$)

[здесь f_0 — низшая собственная частота, Гц, подсчитываемая по формуле (27);

$q_{\text{полн}}$ и q_1 — поверхностные плотности соответственно перекрытия и его несущей части, кг/м²;

$h_{c.п.}$ — средняя толщина промежутка между полом и несущей частью, см (при $h_{c.п.} < 2$ см в формулу подставляют $h_{c.п.} = 2$ см, а при $h_{c.п.} > 12$ см — $h_{c.п.} = 12$ см);
 Δ_{B2} — величина, учитывающая потери в материале звукоизоляционной прослойки (для сыпучих материалов — песка, шлака и т.д. — принимают $\Delta_{B2} = 1,5$, для остальных материалов — $\Delta_{B2} = 0$).

Звукоизоляционная эффективность пола тем больше, чем меньше его низшая собственная частота, т.е. чем больше поверхностная плотность пола и меньше динамическая линейная жесткость звукоизоляционной прослойки. Она возрастает также при увеличении отношения $q_{\text{полн}}/q_1$, увеличении средней толщины промежутка между полом и несущей частью и с ростом потерь звуковой энергии в звукоизоляционной прослойке.

При расчете по формулам (29) и (32) изменения индекса изоляции воздушного шума ΔI_B возможно получение отрицательных значений, что свидетельствует об ухудшении звукоизоляции в результате устройства пола. Это происходит в случаях применения легких полов со сравнительно жесткой звукоизоляционной прослойкой на массивных несущих элементах.

Если в перекрытиях с полом на звукоизоляционной прослойке жесткие связи недопустимы, то в перегородках, состоящих из двух плит (бетонных, кирпичных и т.д.), жесткая связь между ними по контуру через примыкающие конструкции является особенностью, присущей этому ограждению.

Теоретически прохождение звука через двойное ограждение с жесткой связью по контуру рассмотрено [5] на модели, состоящей из двух одинаковых полубесконечных плит, связанных между собой по двум краям плитами-ребрами. Плиты ограждения разделены воздушным промежутком или упругим слоем. Рассмотрение этой модели приводит к выводу, что основная доля звуковой энергии передается между элементами двойного ограждения через ребра, а не через промежуток между ними. В общем случае получаемое повышение звукоизолирующей способности в результате установки второй плиты растет при увеличении частоты с темпом 6 дБ/окт. При определенном соотношении толщин ребра и промежутка между плитами повышение звукоизолирующей способности двойной стены по сравнению со звукоизолирующей способностью одной из составляющих ограждение плит при рассматриваемой модели оказывается независимым от частоты и толщины промежутка между плитами и равно 6 дБ.

Практический метод расчета стен, состоящих из двух одинаковых плит [38], основан на приведенных теоретических результатах и учитывает факторы, определяющие интенсивность косвенной передачи звука. Повышение индекса звукоизоляции ограждения ΔI_v в результате добавления второй панели принимают равным от 6 до 8 дБ в зависимости от отношения поверхностных плотностей перекрытия и одной панели стены и наличия на перекрытии раздельного пола на звукоизоляционной прослойке. Согласно этому расчету, величина ΔI_v не зависит от толщины промежутка между элементами двойной стены.

Число экспериментальных данных об улучшении звукоизоляции двойных стен с жесткой связью по контуру по отношению к звукоизоляции одного из составляющих ее элементов ΔR , полученных в натурных или близких к натурным условиям, крайне ограничено. В связи с этим, а также из-за того, что экспериментальные данные не имеют достаточной сходимости с результатами теоретического рассмотрения, при проектировании приходится ориентироваться на уже проверенные в практике строительства решения двойных перегородок с жесткими связями. Это в первую очередь двойные перегородки из гипсобетонных панелей, толщина промежутка между которыми 4–6 см [23, 33, 48].

Многослойные легкие перегородки в нашей стране применяют в жилых домах пока только в экспериментальном порядке. За рубежом — значительно шире. Имеются результаты испытаний многослойных перегородок различной конструкции в лаборатор-

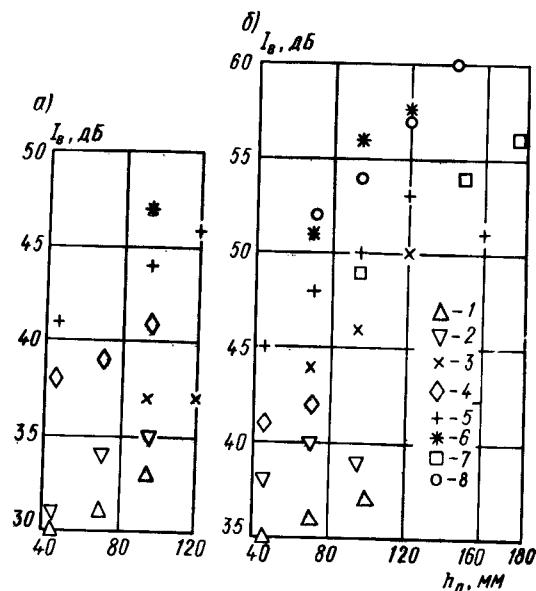


Рис. 7. Зависимость индексов звукоизоляции I_v перегородок с обшивками из гипсовой сухой штукатурки от толщины промежутка h_n между ними а — без заполнения промежутка между обшивками; б — с заполнением промежутка минеральной ватой; 1 — обшивка из одного слоя, деревянный одинарный каркас; 2 — то же, стальной одинарный каркас; 3 — то же, каркас БПА; 4 — обшивка из двух слоев, деревянный одинарный каркас; 5 — то же, стальной одинарный каркас; 6 — то же, каркас БПА; 7 — то же, деревянный двойной каркас; 8 — то же, металлический двойной каркас

ных условиях [65, 75]. Наибольший интерес представляют данные, позволяющие сопоставить результаты измерений звукоизолирующей способности перегородок одинаковой конструкции в лабораторных и натурных условиях [51, 67, 68, 70].

Основными конструктивными параметрами, определяющими звукоизолирующую способность многослойных перегородок, являются материал и толщина обшивок, вид каркаса и способ крепления к нему обшивок, толщина промежутка между обшивками, вид звукопоглощающего материала и степень заполнения им промежутка. Наибольший рост индекса изоляции воздушного шума многослойными перегородками с обшивками из гипсовой сухой штукатурки при увеличении толщины промежут-

ка между обшивками наблюдается при раздельном каркасе и расположении в промежутке звукопоглощающего материала (рис.7).

Вид каркаса заметно влияет на звукоизолирующую способность перегородки. При прочих равных условиях наименьшая звукоизоляция достигается при одинарном каркасе из деревянных брусев, которые отличаются большой жесткостью в поперечном направлении и хорошо передают изгибающие моменты от одной обшивки к другой. Применение одинарного каркаса из тонких стальных швеллерообразных профилей вместо деревянного приводит к увеличению I_v в среднем на 3 дБ. Этот эффект возрастает в перегородках с двухслойными обшивками и при заполнении промежутка между ними минеральной ватой. Применение раздельного каркаса взамен одинарного при двухслойной обшивке и расположении в промежутке звукопоглощающего материала резко повышает звукоизоляцию. Для деревянного каркаса увеличение индекса звукоизоляции I_v составляет свыше 6 дБ, для стального — 4 дБ и больше.

Особый вид одинарного каркаса образуют стальные стойки Σ -образного сечения системы фирмы "БПА Бюгпродукшун АБ" (Швеция) [51]. Введение пружинного элемента в середине профиля, который рассечен длинными продольными прорезями, значительно снижает передачу изгибающих моментов от одной полки профиля к другой. Одинарный каркас из стальных профилей БПА по своим звукоизоляционным качествам соответствует раздельному каркасу из стоек швеллерообразного профиля.

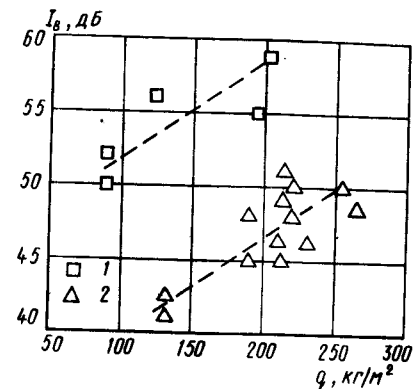
Размещение в промежутке между обшивками звукопоглощающего материала позволяет увеличить индекс звукоизоляции I_v на 2,2—11,5 дБ. Это увеличение зависит от вида каркаса, звукопоглощающего материала и степени заполнения им промежутка. Наибольший эффект от звукопоглотителя достигается при стальном каркасе системы БПА, наименьший — при деревянном. В отношении получаемого эффекта пенополиуретан примерно равноценен с минеральной ватой. Жесткий материал типа пенополистирола при заполнении им промежутка дает незначительный эффект.

При добавлении второго слоя сухой гипсовой штукатурки в облицовках индекс звукоизоляции I_v увеличивается на 6—11 дБ. Это увеличение не имеет выраженной зависимости от других конструктивных параметров и в среднем составляет 8 дБ. Такой рост звукоизолирующей способности нельзя объяснить только увеличением поверхностной плотности обшивок. Важное значение имеет то обстоятельство, что удвоение поверхностной плотности обшивки сопровождается увеличением ее жесткости тоже в 2 раза, в результате чего сохраняется значение граничной частоты. В случае применения обшивки из одного слоя удвоенной толщины такой эффект невозможен.

При сравнении результатов лабораторных и натурных измере-

Рис.8. Зависимость индексов звукоизоляции I_v перекрытий с раздельным потолком от их поверхностной плотности q

1 — перекрытия без жестких связей (испытательный стенд, фрагмент дома); 2 — перекрытия с жесткой связью (объемно-блочные дома)



ний звукоизолирующей способности многослойных перегородок [51, 67, 68, 70] выявилось значительное снижение звукоизоляции в зданиях. Разница между индексом звукоизоляции, полученным в лаборатории, и индексом, который с достаточной надежностью может быть обеспечен в жилом доме при среднем уровне качества работ, составляет от 3 до 10 дБ. Столь значительное снижение звукоизоляции объясняется главным образом косвенной передачей звука по примыкающим конструкциям здания.

Перекрытия с раздельным потолком (подвесным или самонесущим), которые не имеют жестких связей между несущей частью и потолком, в настоящее время в жилищном строительстве СССР не применяют. В двойных перекрытиях объемно-блочных зданий такие связи всегда имеются. Влияние на звукоизоляцию жестких связей между несущей частью перекрытия и потолком видно при сравнении результатов испытания перекрытий с раздельным потолком без жестких связей на испытательном стенде ЦНИИЭП жилища [15] или во фрагменте здания [80] и двойных перекрытий в объемно-блочных зданиях (по данным В.Н. Никольского, Л.П. Тимофеевко, Н.А. Лифшиц [8, 34, 55] и др.). Следует отметить, что в объемно-блочных зданиях по двойным перекрытиям часто устраивают пол на звукоизоляционной прослойке, без чего не удается достигнуть требуемой звукоизоляции. При жесткой связи между элементами перекрытия (в объемно-блочных домах) требуется значительно большая поверхностная плотность перекрытия для достижения определенного индекса звукоизоляции по сравнению с конструкциями без жесткой связи (рис.8). Таким образом, вид связей между несущей частью перекрытия и потолком — важнейший конструктивный параметр этого типа перекрытия. На звукоизолирующую способность двойных перекрытий в объемно-блочных зданиях влияют также особенности косвенной передачи звука в них (см. п.3).

Влияние параметров междуэтажных перекрытий на изоляцию ударного шума

Передача звука через перекрытие при ударных воздействиях на него исследована теоретически Л.Кремером, В.И. Заборовым, С.Д. Ковригиным и др.

Согласно данным В.И. Заборова [5], приведенный уровень ударного звука под несущей частью перекрытия в общем случае определяется выражением

$$L_n^{н.ч} = 134,5 - 10 \lg q^{1,5} D^{0,5} \eta, \quad (33)$$

а для элементов сплошного сечения —

$$L_n^{н.ч} = 140 - 10 \lg \rho^{1,5} E^{0,5} \eta h^3, \quad (34)$$

где q — поверхностная плотность плиты, кг/м^2 ;
 D — изгибная жесткость сечения, $\text{Па} \cdot \text{м}^4$;
 η — коэффициент потерь;
 ρ — плотность материала плиты, кг/м^3 ;
 E — модуль упругости, Па , материала плиты;
 h — толщина плиты, м .

Из формул (33) и (34) следует, что приведенный уровень ударного шума под однородной плитой зависит от частоты звука только в той мере, в какой изменяются с частотой параметры материала — модуль упругости и коэффициент потерь. У бетона частотная зависимость этих параметров незначительна, поэтому частотная характеристика приведенного уровня ударного шума должна приближаться к горизонтальной прямой. Местное смятие материала под молотком ударной машины приводит к увеличению времени контакта между молотком и конструкцией, что учитывается в теории. В частности, теоретическая модель, которая дает формулу (33), действительна на частотах, удовлетворяющих условию

$$f < f'_0 = \frac{K}{\tau_y}, \quad (35)$$

где f'_0 — низшая собственная частота системы "молоток ударной машины — плита";

K — постоянная величина;

τ_y — время контакта молотка ударной машины с конструкцией при ударе (продолжительность удара), с.

С.Д. Ковригин, А.А. Маслов, В.М. Осадчиев установили [13], что формула (33) действительна только в диапазоне частот выше граничной частоты плиты $f_{гр}$. Ими выведены зависимости для области частот $f < f_{гр}$:

$$L_n^{н.ч} = 94 - 10 \lg (q^2/f) \quad (36)$$

(здесь q — в кг/м^3 ; f — в Гц)

и $f > 4f'_0$:

$$L_n^{н.ч} = L_{n,1}^{н.ч} - 10 \gamma \lg f/f'_0 + \alpha, \quad (37)$$

где γ — принимают равным от 2 до 5, а α — от 2,5 до 8,5 в зависимости от принятой модели соударения молотка ударной машины с поверхностью плиты;

$L_{n,1}^{н.ч}$ — величина, подсчитываемая по формуле (33).

Согласно изложенному, на частотах меньше $f_{гр}$ уровень ударного шума под перекрытием должен увеличиваться с темпом 3 дБ/окт, а на частотах, больших $4f'_0$ — уменьшаться (при увеличении частоты) с темпом 6—15 дБ/окт.

Частотные характеристики приведенного уровня ударного шума L_n однородных несущих элементов перекрытия различной конструкции (рис.9), измеренные в жилых домах и на испытательном стенде ЦНИИЭП жилища (по данным автора), качественно согласуются с изложенными теоретическими представлениями. Однако величины L_n , вычисленные по формулам (33) и (34) при средних значениях параметров материала ρ , E и η , значительно (почти на 10 дБ) превышают экспериментальные. Сказывается то, что коэффициент потерь экспериментальные. Сказывает то, что коэффициент потерь материала не отражает полного демпфирования плиты, обусловленного также потерями на границах конструкции. Частота f'_0 , после которой начинается уменьшение L_n , оказывается зависимой не только от материала плиты [13], но и от ее сечения. Объясняется это тем, что при тонкостенных элементах на продолжительность удара заметное влияние оказывает прогиб тонкой плиты при ударе наряду с местным смятием. Рост L_n в нижней части нормируемого диапазона во многих случаях продолжается на частотах, значительно превышающих $f_{гр}$.

Таким образом, непосредственное использование формул (33) — (37) для построения расчетных частотных характеристик приведенного уровня ударного шума не дает удовлетворительной сходимости с результатами эксперимента. Для более корректного построения такой характеристики необходимо учитывать фактическое демпфирование плиты в доме и влияние формы ее поперечного сечения на зависимость L_n от частоты.

Частотная характеристика приведенного уровня ударного шума — промежуточный этап при определении индекса I_y . Проектировщику полезно иметь непосредственную зависимость индекса приведенного уровня ударного шума I_{y0} акустически однородных несущих элементов перекрытия от их поверхностной плотности q .

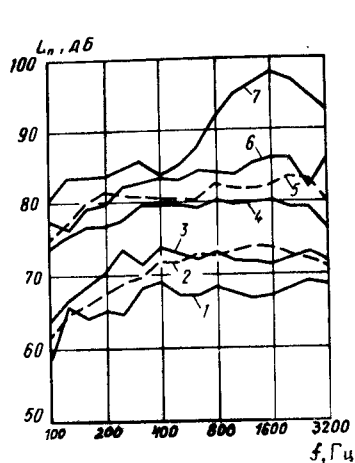


Рис.9. Приведенный уровень ударного шума L_p под несущими элементами перекрытий

1 — сплошная плита из тяжелого бетона $h = 20,6$ см; 2 — то же, $h = 18$ см; 3 — $h = 16$ см; 4 — $h = 10$ см; 5 — сплошная плита из керамзитобетона $h = 8$ см; 6 — то же, из перлитобетона $h = 10$ см; 7 — складчатая армоцементная панель, $h = 20$; $h_{пр} = 4$ см; 8 — трехспойная керамзитобетонная панель $h = 20$ см; 9 — ребристая панель из тяжелого бетона $h = 20$, $h_{пр} = 7$ см; 10 — то же, $h = 11,5$, $h_{пр} = 5,1$ см; 11 — $h = 8,5$, $h_{пр} = 4$ см; 12 — пустотная панель с дискретными связями между наружными споями, $h = 22$, $h_{пр} = 9,2$ см; 13 — многопустотные настилы $h = 22$, $h_{пр} = 12$ см; 14 — то же, со стяжкой $h_{ст} = 6$ см

Экспериментальная зависимость (рис.10), полученная в результате испытаний на испытательном стенде ЦНИИЭП жилища и в натуральных условиях [19], аппроксимирована формулой

$$I_{y0} = 138 - 22 \lg q \text{ (при } 100 \text{ кг/м}^2 \leq q \leq 600 \text{ кг/м}^2\text{)}. \quad (38)$$

Эта зависимость оказывается общей для плит сплошного и ребристого сечений из тяжелого и легкого бетонов [19]. Индексы плит с пустотами несколько больше, чем рассчитанные по формуле (38). Основной причиной, вызывающей повышение уровня ударного шума под пустотными плитами, можно считать резонансы воздуха в пустотах.

При укладке на бетонную несущую часть мягких покрытий пола (линолеумов на теплозвукоизолирующей подоснове, ковровых покрытий и т.д.) происходит значительная амортизация удара, связанная со смятием покрытия под молотком ударной машины и увеличением продолжительности удара. Теоретическое рассмотрение этого явления [5] позволяет получить следующее выражение для определения снижения уровня ударного шума

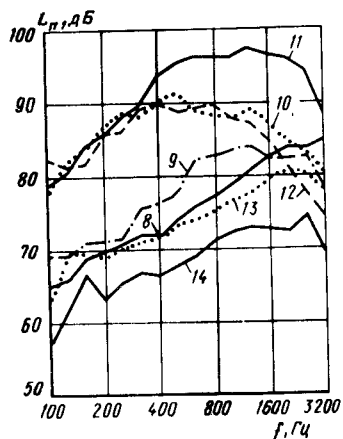
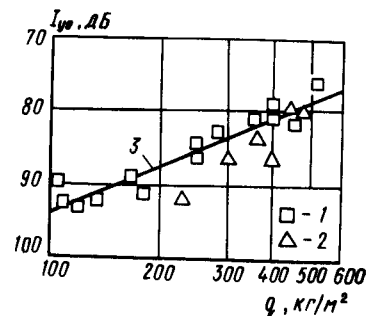


Рис.10. Зависимость индексов I_{y0} акустически однородных несущих элементов перекрытий от их поверхностной плотности q
1 — плиты сплошного и ребристого сечения; 2 — пустотные плиты; 3 — зависимость I_{y0} — q по формуле (38)



при укладке на несущую часть перекрытия мягкого покрытия пола:

$$\Delta L_p = 40 \lg (f/f'_0), \quad (39)$$

где f'_0 — низшая собственная частота системы "молоток ударной машины — покрытие пола", зависящая от продолжительности удара:

$$f'_0 = 0,45/\tau_y. \quad (40)$$

Продолжительность удара τ_y нужно определять для каждого материала покрытия пола экспериментально. Использование связи между τ_y и глубиной вдавливания в покрытие штампа, находящегося под статической нагрузкой [11, 36], упрощает экспериментальное определение этой величины.

Как следует из формулы (39), снижение уровня ударного шума ΔL_p должно равномерно расти с увеличением частоты с темпом 12 дБ/окт. Фактическое изменение ΔL_p для линолеума на мягкой подоснове имеет более сложный характер, чем это следует из формулы (40), и только на отдельных участках может быть с достаточной точностью аппроксимировано этой формулой [14].

Практический метод расчета [9, 19, 39, 54] индекса I_y основан на использовании величин I_{y0} , подсчитанных по формуле (38), и ΔI_y , определенных экспериментально для каждого вида покрытия пола. Изменение несущей части пола сравнительно мало влияет на частотную характеристику ΔL_p , поэтому с достаточной точностью можно величины ΔI_y , измеренные на одной конструкции несущей части, применять при расчете перекрытий с другими несущими частями. Используя их для расчета, необходимо учитывать снижение величины ΔI_y при эксплуатации (см. п.4), а также при колебаниях характеристик материалов в процессе массового производства.

При теоретическом рассмотрении передачи ударного шума через перекрытие с раздельным полом [5] приняты две модели, в которых несущая часть перекрытия представлена в виде шарнирно-опертой по контуру прямоугольной плиты, а пол — в виде несвязанных между собой равномерно распределенных масс или в виде второй шарнирно-опертой по контуру прямоугольной плиты. Между полом и несущей частью перекрытия непрерывно и равномерно расположены безынерционные упругие поперечные связи. Первая модель принята для пола из мелкогазобетонных слабосвязанных между собой элементов, вторая — для пола из крупных достаточно жестких элементов.

Согласно первой модели, снижение уровня ударного шума тем больше, чем больше отношение поверхностных плотностей пола и несущей части q_2/q_1 и чем ниже собственная частота пола f_0 , т.е. чем меньше жесткость звукоизоляционной прослойки. На достаточном удалении от f_0 величина ΔL_n растет при повышении частоты с темпом 12 дБ/окт. Для второй модели сохраняется та же закономерность, но она несколько усложнена влиянием отношения граничных частот несущей части и пола, которое зависит от отношения их поверхностных плотностей и жесткостей. Увеличение жесткости пола при прочих равных условиях приводит к уменьшению ΔL_n .

Рассмотренные модели справедливы в области частот

$$f \leq f_0 \sqrt{q_2/q_c}, \quad (41)$$

где q_c — поверхностная плотность упругого слоя (звукоизоляционной прослойки).

При более высоких частотах нельзя пренебрегать инерционностью упругого слоя. В этом диапазоне ΔL_n растет при увеличении частоты с темпом 6 дБ/окт [5].

На приведенных результатах основан метод построения расчетной частотной характеристики ΔL_n [50], которая состоит из двух отрезков прямой, имеющих уклоны 12–15 и 6 дБ/окт. Положение частотной характеристики в нормируемом диапазоне зависит от низшей собственной частоты пола и отношения поверхностных плотностей его и звукоизоляционной прослойки. Если низшая собственная частота пола попадает в нормируемый диапазон, то очертание кривой в непосредственной близости от нее принимают в зависимости от отношения поверхностных плотностей несущей части и пола. Этот метод [50] дает удовлетворительную сходимость с результатами натурных измерений, если основание пола выполнено из того же материала, что и несущая часть перекрытия (из бетона). В случае деревянных полов расхождение между расчетными и измеренными индексами звукоизоляции достигает 6–16 дБ, причем при расчете получают завышенные значения I_y . Это указывает на серьезные различия

между параметрами теоретической модели, положенной в основу расчета, и реального пола на лагах.

Одним из факторов, обеспечивающих лучшую фактическую изоляцию ударного шума при деревянных полах, является значительная их податливость при ударе молотка ударной машины, что приводит к увеличению продолжительности удара. М.С. Терзибашьянц показал также [56], что при определении ΔL_n в случае дощатого пола по лагам необходимо учитывать прохождение звука через лаги и через воздушный промежуток между ними.

Практический метод расчета [9, 19, 39] изменения индекса приведенного уровня ударного шума ΔI_y в результате устройства пола, предложенный автором, основан на экспериментальной зависимости этой величины от конструктивных параметров пола:

$$\Delta I_y = 10 \lg \left[\left(\frac{800}{f_0} \right)^{2,5} \sqrt{\frac{h_{c.n.}}{2}} 10^{0,025 (I_y^{н.ч} - 70)} \right] + \Delta_{y2} + \Delta_{y3} \quad \text{при } 30 \text{ Гц} \leq f_0 \leq 800 \text{ Гц}, \quad (42)$$

где f_0 — низшая собственная частота пола, определяемая по формуле (27), Гц;

$h_{c.n.}$ — средняя толщина промежутка между полом и несущей частью, см [при $h_{c.n.} < 2$ см в формулу (42) подставляют $h_{c.n.} = 2$ см, при $h_{c.n.} > 12$ см — $h_{c.n.} = 12$ см];

$I_y^{н.ч}$ — индекс приведенного уровня ударного шума несущей части, дБ.

Величина Δ_{y2} учитывает материал и конструкцию пола. При полах из досок или из паркета по дощатому основанию принимают $\Delta_{y2} = 3$ дБ; при полах из паркета, линолеума, релина, твердых древесноволокнистых плит, уложенных по монолитной стяжке или мелкогазобетонным плитам основания пола, $\Delta_{y2} = 0$; при тех же покрытиях, уложенных по сборным крупногабаритным бетонным основаниям пола, $\Delta_{y2} = -3$ дБ.

Величина Δ_{y3} учитывает влияние звукоизоляционной прослойки на демпфирование перекрытия. В случае применения засыпок из песка, шлака и т.д. принимают $\Delta_{y3} = 1,5$ дБ, в других случаях — $\Delta_{y3} = 0$.

3. ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ И ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ЗДАНИЯ

Конструктивная и планировочная структура здания влияет на звукоизоляцию помещений в той мере, в какой она определяет интенсивность косвенной (в обход разделяющей помещения конструкции) передачи звука и потери звуковой энергии на границах ограждений.

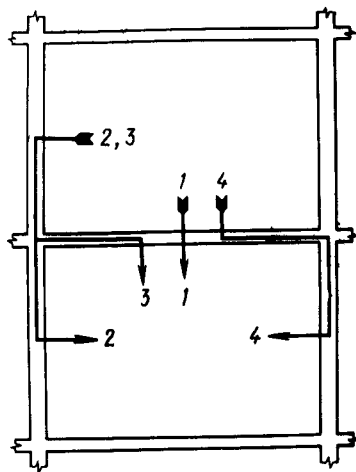


Рис.11. Основные пути передачи звука в смежное помещение
1 — прямой путь; 2—4 — косвенные пути

Косвенная передача звука возможна по конструкциям здания, трубопроводам (структурная передача), через окна, двери, вентиляционные каналы, полости в конструкциях (воздушная передача). При правильных проектных решениях влияние на звукоизоляцию структурной передачи звука по трубопроводам, а также воздушной передачи может быть полностью исключено или значительно ослаблено. В противоположность этому полностью исключить влияние косвенной передачи звука по конструкциям в обычных жилых домах не удастся. Необходимо при проектировании правильно учитывать это влияние.

Звуковое поле, возникшее в воздухе помещения с источником шума, воздействует на все ограждающие его конструкции, которые приходят в колебательное движение. Колебания распространяются по конструкциям здания в соседние и более удаленные помещения. Излучение звуковой энергии колеблющимися ограждениями в этих помещениях создает в них звуковое поле. Так происходит косвенная передача звука по конструкциям здания (структурная передача). Основные пути структурной передачи звука между соседними помещениями показаны на рис.11.

Снижение уровня вибрации¹ при распространении их по неразрезной строительной конструкции (плите, балке, колонне)

¹ Мериллом интенсивности вибраций служат уровни вибро смещения, виброскорости или виброускорения, равные соответственно $20 \lg (s/s_0)$, $20 \lg (v/v_0)$, $20 \lg (a/a_0)$, где s , v , a — среднеквадратичные значения вибро смещения, виброскорости или виброускорения; $s_0 = 8 \cdot 10^{-12}$ м; $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с; $a_0 = 3 \cdot 10^{-4}$ м/с² — пороговые значения вибро смещения, виброскорости и виброускорения [44].

незначительно. Основными элементами, снижающими уровни вибраций, распространяющихся по зданию, являются стыки и узлы, в которых соединяются перпендикулярно расположенные конструкции.

Структурное распространение звука в строительных конструкциях изучали теоретически и экспериментально Л.Кремер, В.Вестфаль, М.Хекль, В.И. Заборов, Т.Кильман, А.В. Захаров, В.Т. Мартынов и др.

Согласно современным представлениям, в плите, колебания которой возбуждены звуковым полем или точечным источником вибрации, устанавливается диффузное поле изгибных колебаний, что связано с отражением волн от стыков и узлов соединения плиты с другими конструкциями. Часть энергии колебаний волн, падающих под произвольными углами на линию стыка или узла, отражается, а часть передается в сопряженные элементы. В общем случае в этих элементах возбуждаются изгибные, продольные и поперечные (сдвиговые) волны, а также быстро затухающие с расстоянием изгибные волны (ближнее поле).

Передача звуковой энергии в сопрягаемые элементы характеризуется коэффициентами передачи τ . Коэффициент передачи вибрации определяется [5] как снижение колебательной скорости при переходе через стык от i -го ограждения к j -му, характеризующееся отношением квадратов виброскоростей:

$$\tau_{ij} = v_j^2 / v_i^2. \quad (43)$$

При таком определении разность уровней вибрации двух разделенных стыком конструкций связана с коэффициентом передачи соотношением

$$\Delta L_v = L_{vi} - L_{vj} = 10 \lg \frac{1}{\tau_{ij}}. \quad (44)$$

Коэффициенты передачи вибрации в крестообразном узле здания, определенные без учета распространения продольных волн для жестко связанных между собой тонких плит [5], равны:

при передаче вибраций между элементами, сопрягаемыми под прямым углом

$$\tau_{1,2} = \frac{\frac{c_2}{c_1} \frac{h_2}{h_1}}{4 \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^2 \left(\frac{c_2}{c_1} \right)^3 \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^5 + 8 \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{c_2}{c_1} \right)^{1,5} \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{2,5} + 5}; \quad (45)$$

при передаче вибраций между элементами, расположенными вдоль одной оси

$$\tau_{1,3} = \frac{1}{4 \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^2 \left(\frac{c_2}{c_1} \right)^3 \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^5 + 8 \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{c_2}{c_1} \right)^{1,5} \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{2,5} + 5}, \quad (46)$$

где ρ_1 и ρ_2 — плотности материала первой и второй плит;
 c_1 и c_2 — скорости продольных волн в первой и второй плитах;

h_1 и h_2 — толщина первой и второй плит (первая и вторая плиты расположены под прямым углом друг к другу, возбуждению подвергается первая плита).

Формулы (45) и (46) справедливы в том случае, когда коэффициенты передачи вибраций усредняются в достаточно широких полосах частот (измерения проводятся с использованием широкополосных фильтров). В этом случае коэффициенты передачи вибраций оказываются независимыми от частоты.

Зная коэффициент передачи вибраций в узлах, можно определить увеличение уровня звукового давления в помещении ΔL , или снижение звукоизоляции ΔR , вызванное косвенной передачей звука по конструкциям [5]:

$$\Delta R = -10 \lg \left\{ 1 + \sum_{i=6}^9 [10^{0,1 (R_1 - R_i)} \tau_{i,1} + \frac{S_i - 4}{S_1} (\tau_{1,i} - 4 + 10^{0,1 (R_1 - R_i)} \tau_{i,i-4})] \right\}, \quad (47)$$

где
 $i=6, \dots, 9$ — номер фланговой конструкции в помещении с источником звука;

R_1 и S_1 — соответственно звукоизолирующая способность и площадь основной, разделяющей смежные помещения, конструкции;

R_i — звукоизолирующая способность фланговой конструкции с номером i в помещении с источником звука;

$S_i - 4$ — площадь фланговой конструкции с номером $i-4$ в изолируемом помещении;

$\tau_{i,1}$ — коэффициент передачи вибраций от фланговой конструкции с номером i в помещении с источником звука основной (первой) конструкции;

$\tau_{1,i-4}$ — коэффициент передачи вибраций от основной конструкции фланговой с номером $i-4$;

$\tau_{i,i-4}$ — коэффициент передачи вибраций от фланговой конструкции с номером i в помещении с источником звука фланговой конструкции с номером $i-4$ в изолируемом помещении.

Из формулы (47) видно, что влияние косвенной передачи звука возрастает с увеличением звукоизолирующей способности основной конструкции по сравнению с фланговыми, коэффициентов передачи вибраций и отношения площадей фланговых конструкций в изолируемом помещении к площади основного ограждения.

Поправку ΔR , подсчитанную по формуле (47), нужно делать к значению звукоизолирующей способности конструкции, определенной в условиях отсутствия косвенной передачи звука (к так называемой собственной звукоизоляции). Для большинства конструкций, применяемых в жилых зданиях, достаточно надежное определение этой величины сопряжено с большими трудностями. Даже в специально сконструированных испытательных камерах не удается устранить все пути косвенной передачи звука. Это затрудняет проверку теоретических выражений собственной звукоизоляции. Отсутствуют надежные практические методы расчета собственной звукоизолирующей способности акустически неоднородных конструкций. Указанные трудности вынуждают прибегать к практическим методам учета влияния косвенной передачи звука при расчетах изоляции воздушного шума. Такие методы изложены в п.2 применительно к расчету индексов изоляции воздушного шума перекрытиями с полом на звукоизоляционной прослойке (раздельным или слоистым).

Приведенные выше методы определения индексов I_v для акустически однородных ограждений также учитывают влияние косвенной передачи звука, интенсивность которой может быть названа средней или нормальной для жилых домов традиционной конструкции. Звукоизолирующая способность акустически однородных ограждений, измеренная в условиях нормальной интенсивности косвенной передачи звука, в среднем на 2 дБ ниже их собственной звукоизоляции, измеренной в испытательных камерах с малой косвенной передачей звука.

Однако при определенных конструктивных и планировочных решениях интенсивность косвенной передачи звука может заметно отличаться от нормальной. Эти случаи необходимо учитывать при расчете.

Заметные отклонения интенсивности косвенной передачи звука от нормальной наблюдаются в случае применения перекрытий, состоящих из сплошной железобетонной несущей панели и пола из линолеума на мягкой подоснове [14, 24]. Анализ экспериментальных данных (см. п.9) позволил установить основные факторы, влияющие на интенсивность косвенной передачи звука при такой конструкции перекрытия, и разработать практический

метод учета ее влияния на звукоизоляцию помещений [9, 19, 39]. Одним из параметров, учитываемых этим методом, является конструктивно-планировочная структура здания. Изменение индекса изоляции воздушного шума перекрытием с полом на мягкой подоснове в жилых домах выражается формулами:

при малом шаге поперечных несущих стен

$$\Delta I_B = -4,2 \left[1 - \frac{(h^c/h^n)^4}{0,3 + (h^c/h^n)^4} \right]; \quad (48)$$

при большом шаге несущих стен

$$\Delta I_B = -3,5 \left[1 - \frac{(h^c/h^n)^4}{0,14 + (h^c/h^n)^4} \right], \quad (49)$$

где h^c и h^n — толщины соответственно несущей стены и несущего элемента перекрытия.

Формулы (48) и (49) получены на основе обработки результатов натурных испытаний перекрытий с железобетонной несущей плитой и полом из линолеума на мягкой подоснове, поэтому они учитывают также влияние на звукоизолирующую способность перекрытия такого покрытия пола.

Меньшее снижение звукоизоляции в домах с большим шагом несущих стен, для которых справедлива формула (49), объясняется применением в них ненесущих перегородок, в то время как в домах с малым шагом поперечных несущих стен многие помещения с трех сторон ограничены внутренними несущими стенами. Связь перекрытия с перегородками значительно слабее, чем с несущими стенами. В результате неодинаковых перемещений нижнего и верхнего перекрытий при эксплуатации в их стыках с перегородками, как правило, образуются трещины, что еще более ослабляет связь между ними, поэтому коэффициенты передачи вибраций в вертикальном направлении в узлах соединения перекрытий с перегородками значительно ниже коэффициентов передачи вибраций в узлах соединения перекрытий и несущих стен. Этим определяется меньшая интенсивность косвенной передачи звука по ним.

Применение ненесущих перегородок уменьшает интенсивность косвенной передачи звука в вертикальном направлении. В то же время усиливается интенсивность косвенной передачи звука в горизонтальном направлении между помещениями, разделенными перегородками. Последнее особенно заметно в случае применения легких многослойных перегородок. Из-за слабой связи таких перегородок с перекрытиями и несущими стенами, а также из-за малой их жесткости и поверхностной плотности почти не

происходит оттока звуковой энергии в них из массивных конструкций, поэтому в узлах соединения с легкими перегородками коэффициент передачи вибрации по массивной конструкции близок единице.

Влияние конструктивно-планировочной структуры здания на звукоизоляцию помещений заметно выражено в домах из объемных блоков. Для таких зданий характерны двойные ограждения, образуемые стенками соседних блоков. Они жестко связаны между собой в местах опирания блоков, устройства горизонтальных и вертикальных диафрагм, в стыках наружных стен и местах соединений соседних блоков. Влияние жестких связей между элементами перекрытий в объемно-блочных зданиях на их звукоизолирующую способность было рассмотрено выше (см. рис.8). Жесткосвязанные между собой тонкостенные элементы обуславливают возможность интенсивной структурой передачи звука. Во многих случаях они подвержены образованию усадочных и других трещин.

Воздушные промежутки между блоками пронизывают здание в трех направлениях. Это создает возможность косвенной передачи воздушного звука по полостям между блоками, если они не перегородены в нужных местах диафрагмами или если в диафрагмах имеются трещины или щели. Звук может проникать из помещения в воздушный промежуток, и в обратном направлении, через щели и неплотности между коробками внутренних дверей и стенками блоков, в местах установки в них штепсельных розеток, пропуска труб отопления и т.д.

Косвенная передача звука по воздуху через окна и балконные двери заметно влияет на звукоизоляцию смежных по горизонтали или вертикали помещений в тех случаях, когда имеется возможность усиленного распространения звуковых волн вдоль фасада в результате многократных отражений от поверхностей выступающих элементов здания (эффект волновода). Такая возможность возникает, например, если общие для двух помещений лоджия или балкон не имеют глухой перегородки на всю высоту и ширину. Это показывают результаты испытаний межквартирных стен, разделяющих комнаты без лоджий и с лоджиями (данные автора).

В доме серии 1—464С две соседние лоджии разделены железобетонной перегородкой с круглыми сквозными отверстиями диаметром 15 см, расположенными в шахматном порядке. В доме серии 1—451 в момент проведения испытаний перегородки в лоджиях не были установлены. Снижение индекса изоляции воздушного шума в результате косвенной передачи звука через окна и балконные двери составило соответственно 3 и 5 дБ. Очевидно, что при открытых окнах или балконных дверях ухудшение звукоизоляции соседних помещений будет значительнее.

Усиленная передача звука вдоль фасада по вертикали возникает в зданиях, имеющих в плане уступы. На участках, расположенных

между двумя выступами, в результате многократного отражения от параллельных поверхностей звук распространяется, как по волноводу, с незначительным затуханием. Звукоизоляция помещений, соседствующих по вертикали, а также разделенных одним, двумя, тремя этажами заметно различается в случаях, когда помещения выходят на плоский фасад или на участок фасада, расположенный между выступами. Как показали измерения в жилых домах серии П-3-16 в Москве [3], в последнем случае индексы звукоизоляции ниже на 3-5 дБ при закрытых окнах и на 7-8 дБ при открытых. Влияние косвенной передачи звука через окна тем значительнее, чем меньше расстояние между выступами, ограничивающими участок фасада, и чем глубже уступ.

Конструктивно-планировочные параметры здания влияют не только на интенсивность косвенной передачи звука, но и на демпфирование ограждений. Выше показано, что степень демпфирования конструкции определяется внутренними потерями звуковой энергии (в материале конструкции) и потерями на границах ограждения. Последние в значительной степени зависят от оттока звуковой энергии в смежные конструкции. Интересен для практики случай, когда отток звуковой энергии происходит в пределах конструкции, одна часть которой подвержена воздействию звукового поля, а другая — нет. Эффект такого оттока энергии ясно обнаруживается, если конструкция имеет четкие границы, как, например, панель в крупнопанельном доме. Более высокая звукоизоляция смежных помещений в тех случаях, когда между ними расположена часть стеновой панели, объясняется оттоком звуковой энергии в другую ее часть. Эта энергия расходуется на колебание того участка панели, который не подвержен непосредственному воздействию звукового поля. Вызванное этим увеличение индекса изоляции воздушного шума, связанное с оттоком звуковой энергии в часть панели, не подверженную воздействию звукового поля, определяется [23] по формуле

$$\Delta I_B = 10 \lg (S/S_1), \quad (50)$$

где S — полная площадь панели;

S_1 — площадь панели, подверженная воздействию звукового поля.

Конструктивно-планировочная структура здания в значительной мере определяет вероятность образования при эксплуатации в элементах ограждений сквозных трещин, снижающих звукоизоляцию (это влияние конструктивно-планировочной структуры здания рассматривается в п.4).

4. ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ВО ВРЕМЕНИ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

В результате эксплуатационных воздействий многие параметры ограждений и характеристики составляющих их материалов изменяются во времени. Деформации и перемещения элементов под воздействием нагрузок, перепадов температуры и влажности, усадки бетонов и растворов, усушки и коробления древесины и т.д. являются причиной нарушения сплошности самих ограждений и их соединений, образования в них трещин, щелей. При длительно действующих нагрузках снижается изгибная жесткость железобетонных элементов. Слои из мягких сильно деформируемых материалов, находящиеся под нагрузкой, обжимаются, уменьшается их толщина и повышается плотность. Под действием нагрузок, тепла, влаги, освещения, химических и биологических агентов происходят старение пластмасс, резины и ряд других медленно протекающих процессов, которые изменяют свойства материалов и конструкций.

Наиболее интенсивно большинство из этих процессов протекает в первый период эксплуатации здания. Как правило, изменения носят затухающий характер и со временем свойства материалов и конструкций стабилизируются. Показатели этих свойств (после стабилизации) и определяют действительные эксплуатационные качества конструкций, в том числе их звукоизолирующую способность. В период стабильной работы материалов и конструкций также наблюдаются некоторые колебания их характеристик, связанные с изменением внешних условий. Но колебания эти происходят вокруг какого-то среднего значения, которое практически не меняется или меняется незначительно. Продолжительность периода стабильной работы конструкции зависит от ее долговечности, а также от долговечности составляющих ее элементов и материалов. По исчерпанию сроков службы отдельных элементов возникают "отказы", т.е. происходит частичная или полная потеря эксплуатационных свойств конструкции.

Одним из наиболее чувствительных к внешним воздействиям элементов ограждений является звукоизоляционная прослойка. Эффективность звукоизоляционной прослойки определяется в первую очередь ее линейной жесткостью. Эффективность увеличивается с уменьшением линейной жесткости, т.е. с уменьшением динамического модуля упругости материала и увеличением толщины прослойки. Для каждого вида материала существует прямая зависимость между его динамическим модулем упругости и плотностью. Поэтому в звукоизоляционных прослойках целесообразно применять: пористые материалы малой плотности — пористо-волоконистые материалы на основе минеральных, стеклянных, древесных и текстильных волокон; пористо-губчатые материалы на основе резины и синтетических полимерных материалов; сыпучие материалы, преимущественно неорганические.

Пористо-волокнистые материалы изготовляют без связки или со связкой.

Динамический модуль упругости характеризует связь между напряжением и относительной деформацией в материале при воздействии на него периодически изменяющейся силы. При этом каждый цикл нагружения происходит очень быстро, а амплитуда изменения напряжения мала. Для твердых малопористых материалов модули упругости, определенные в динамическом и статическом режимах, практически равны. У материалов малой плотности с большой пористостью различия между этими двумя величинами значительны. Тем не менее для данного вида материала меньшему динамическому модулю упругости соответствует и меньший статический модуль упругости. Поэтому большинство материалов, используемых в звукоизоляционных прослойках, отличаются значительной деформативностью. Она определяется не только упругими деформациями, исчезающими при снятии нагрузки, но и пластическими деформациями, которые после снятия нагрузки сохраняются. Исследования деформативных характеристик звукоизоляционных материалов [11, 20, 58] выявили различный характер и причины пластических деформаций материалов разных структуры и происхождения.

Звукоизоляционные прослойки в жилых домах в основном устраивают в междуэтажных перекрытиях. Они подвергаются воздействию постоянных и переменных статических и динамических нагрузок. В этих условиях возможны следующие причины возникновения пластических деформаций в звукоизоляционных прослойках: более плотное размещение под воздействием нагрузок и вибраций волокон пористо-волокнистых и зерен сыпучих материалов; необратимые деформации, в том числе ползучесть, в материале волокон и в соединяющей их связке, в стенках пор пористо-губчатых материалов; разрушение связки и более плотное размещение освободившихся от связей волокон в пористо-волокнистых материалах; разрушение волокон, разрушение или потеря устойчивости стенок пор.

Возникновение деструктивных процессов в материале свидетельствует о наступлении его предела прочности, либо предела динамической стойкости, либо об исчерпании срока его службы из-за наступления предела химической стойкости, биостойкости и т.д. Другие причины пластических деформаций существуют в условиях нормальной эксплуатации, и их следует учитывать при определении толщины звукоизоляционной прослойки.

Первоначальное деформирование звукоизоляционной прослойки происходит в результате устройства пола на междуэтажном перекрытии. Средняя толщина звукоизоляционной прослойки перед началом эксплуатации составляет

$$h_{з1} = h (1 - \varepsilon_k),$$

(51)

где h — толщина материала прослойки в необжатом состоянии;
 ε_k — относительное сжатие (кратковременное) материала за период строительства.

В процессе эксплуатации деформация звукоизоляционной прослойки продолжается до момента ее стабилизации. Затем в течение времени, равного сроку долговечности материала, звукоизоляционная прослойка будет иметь в среднем толщину

$$h_3 = h (1 - \varepsilon_d), \quad (52)$$

где ε_d — относительное сжатие материала (длительное) к моменту стабилизации пластических деформаций.

Звукоизоляционные прослойки применяют в виде сплошного слоя или в виде полосовых прокладок. Площадь полосовых прокладок принимают не менее 20% площади пола. Нормативная нагрузка на пол в жилых домах составляет 1500 Н/м². При средней поверхностной плотности пола, равной 50 кг/м², удельная нагрузка на звукоизоляционную прослойку при сплошном слое составляет 0,2 Н/см², при полосовых прокладках — 1 Н/см². Эти удельные нагрузки приняты при определении деформативных характеристик звукоизоляционных материалов [20].

Наблюдения за изменением толщины звукоизоляционной прослойки в процессе строительства и эксплуатации зданий показали, что при подстановке в формулы (51) и (52) величин ε_k и ε_d , определенных по методике автора [20], можно с достаточной для практических целей точностью и надежностью найти этот конструктивный параметр.

Динамический модуль упругости пористых материалов возрастает с повышением удельной нагрузки на них, т.е. с увеличением обжатия и, следовательно, плотности материала. Поэтому в вводимых в расчет значениях динамического модуля упругости, определенных под соответствующей удельной нагрузкой, учтено возможное его увеличение в процессе эксплуатации [20].

Расчетные параметры материалов, выпускаемых промышленностью и используемых в звукоизоляционных прослойках междуэтажных перекрытий, приведены в табл.1.

При использовании расчетных значений динамического модуля упругости и толщины звукоизоляционной прослойки, определенной по формуле (52), учитывается возможное снижение звукоизоляции при эксплуатации, связанное с повышением жесткости звукоизоляционной прослойки перекрытия.

Следует однако иметь в виду, что в формулу (52) вводят номинальную толщину материала. Фактическая же его толщина зависит от допусков при изготовлении. Кроме того, возможны местные изменения толщины (разнотолщинность по площади) материала. Необходимо ввести дополнительные требования к толщине материала, чтобы в результате длительного обжатия

Т а б л и ц а 1. Характеристики материалов, применяемых для звукоизоляционных прослоек перекрытий

Материал	Плотность, кг/м ³	Звукоизоляционная прослойка в виде					
		сплошного слоя			полосовых прокладок		
		$E_d \cdot 10^{-5}$ Па	ε_k	ε_d	$E_d \cdot 10^{-5}$ Па	ε_k	ε_d

Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем (ГОСТ 9573-72*):

полужесткие, марки 125
жесткие, марки 150

Плиты минераловатные на синтетическом связующем (ТУ 21-24-52-73 Минпромстрой-материалов СССР), полужесткие марки:

ПП-80
ПП-100

Маты минераловатные прошивные

(МРТУ 7-19-68) марки:

100
150

Плиты древесноволокнистые
мягкие (ГОСТ 4598-74)

Плиты звукоизоляционные из полистирольного эластифицированного пенопласта (ВТУ № 2-70 Главмосблстрой) марки ПСБ-3

Плиты фибролитовые на портландцементе (ГОСТ 8928-70) марки 300

Шлак топливный, металлургический предельной крупностью 20 мм

Песок кварцевый, прокаленный

Керамзит предельной крупностью 20 мм

300-350	15	0,02	0,05	-	-	-	-
500-800	80-90	0,01	0,03	-	-	-	-
1300-1500	120	0,01	0,03	-	-	-	-
300	55	0,01	0,03	-	-	-	-
400	66	0,01	0,03	-	-	-	-
500	77	0,01	0,03	-	-	-	-
600	88	0,01	0,03	-	-	-	-

звукоизоляционной прослойки в самом тонком ее месте не возник непосредственный (жесткий) контакт между полом и несущей частью. Это особенно важно для сильно деформирующихся минераловатных материалов. Кроме того, должна быть ограничена и максимальная толщина минераловатных материалов, чтобы не допустить значительной неравномерной осадки и зыбкости пола.

Учитывая сказанное, толщина минераловатных материалов в случаях применения их в виде сплошного слоя под сборным основанием пола, под монолитной стяжкой и в виде полосовых прокладок должна находиться в следующих пределах, мм: для плит, изготовляемых по ГОСТ 9573-72, марки 125, соответственно 30-60, 40-60 и 35-60; марки 150 — 25-60; 35-60 и 30-60; для плит, изготовляемых по ТУ 21-24-52-73, марки ПП-80 соответственно 25-40; 30-40; 30, марки ПП-100 — 20-50, 25-50 и 25-40; для матов прошивных, изготовляемых по МРТУ 7-19-68, марки 100 — 30-60, 40-60 и 50-60; марки 150 — 25-60, 30-60 и 40-60.

Происходящее при эксплуатации уплотнение мягкой подосновы двухслойных покрытий пола снижает изоляцию ударного шума. К этому приводит также увеличение жесткости и твердости верхнего слоя из пластмассы или резины вследствие их старения.

Расчетное значение повышения изоляции ударного шума ΔL_v , дБ, в результате укладки покрытий пола составляет для линолеума, изготовляемого по ГОСТ 18109-72, на иглопробивной неткановолокнистой подоснове из шерстяных или синтетических волокон — 17, на подоснове из лубяных волокон — 16, для рулонного однослойного покрытия на основе синтетических волокон, изготовляемого согласно ТУ 21-29-35-75 Минпромстройматериалов СССР (тип А), — 20, а для такого же двухслойного покрытия на вспененной поливинилхлоридной подоснове (тип Б) — 26.

Таким образом, изменения в процессе эксплуатации звукоизоляционных качеств перекрытий, связанные с изменением параметров звукоизоляционных прослоек, учитывают при определении расчетных значений повышения звукоизоляции при устройстве пола.

Другая важная причина изменений звукоизоляции в период эксплуатации здания — образование или раскрытие в ограждениях и их элементах сквозных трещин и щелей. Прохождение звука через небольшие отверстия, узкие щели — это сложный процесс, зависящий от большого числа факторов. Основные физические явления, определяющие интенсивность этого процесса: дифракция звуковых волн, их отражение на выходе из отверстия, резонанс объема воздуха, заключенного в отверстии, поглощение звука ограничивающими его поверхностями, трение и теплообмен между ними и воздухом в отверстии.

Сделан ряд попыток теоретически решить задачу о прохожде-

нии звуковых волн через малые отверстия в ограждениях Ф.Ингерелевом, Р.Нильсеном, М.Гомпертсом, И.Номура и др. [66, 71]. Они либо связаны со значительными упрощениями (т.е. учитывают не все действующие факторы), либо приводят к сложным аналитическим выражениям, которые трудно использовать в практических целях. Правильность теоретических результатов не всегда достаточно подтверждена экспериментом, поэтому о закономерностях прохождения звука через малые отверстия и щели приходится судить, основываясь как на теоретических представлениях, так и на результатах экспериментальных исследований [6, 10, 30, 33].

Дифракция звука вызывает концентрацию звуковой энергии у отверстия и создает возможность повышенной его передачи. Отражение звуковых волн на выходе из отверстия возникает в тех случаях, когда поперечный размер отверстия мал по сравнению с длиной звуковой волны, и снижает прохождение звука. Это явление особенно заметно при круглых отверстиях и значительно меньше при длинных щелях, поэтому через щель звук проходит интенсивнее, чем через круглое отверстие той же площади.

Частоты, на которых возможен резонанс в щели, определяют из выражения

$$f_p = \frac{n c_0}{2(h + 2\alpha)}, \quad (53)$$

где n — целое число;

c_0 — скорость звука в воздухе, м/с;

h — толщина ограждения, м;

α — коррекция акустической длины на одном конце отверстия, м.

На резонансных частотах прохождение звука через отверстие или щель усиливается.

Поглощение звука стенками отверстия оказывает заметное влияние на прохождение звука при достаточно большой толщине ограждения. Поглощение увеличивается с повышением коэффициента звукопоглощения материала.

Теплообмен между стенками отверстия и воздухом в нем определяет характер процессов сжатия и разрежения воздуха, происходящих при прохождении звуковой волны. В случае достаточной продолжительности цикла сжатия (на низких частотах) выделяемое при этом тепло успевает поглотиться стенками отверстия и процесс сжатия имеет изотермический характер. При малой продолжительности цикла (на высоких частотах) теплообмен не успевает произойти и процесс сжатия имеет адиабатический характер. Характер процесса сжатия определяет сжимаемость воздуха при заданном давлении и тем самым влияет на прохождение звука через отверстие. Менее интенсивное

прохождение звука наблюдается при адиабатическом сжатии. Трение между воздухом и стенками щели снижает интенсивность прохождения звука.

Резонансные частоты, при которых передача звука через щель наибольшая, расположены у конструкций жилых зданий в верхней части нормируемого диапазона, поэтому с увеличением частоты звукоизолирующая способность щели в целом уменьшается.

Интенсивность прохождения звука через отверстия и щели зависит также и от их расположения в ограждении. Наибольшая звукопроницаемость при прочих равных условиях у щелей и отверстий, расположенных в углу или на краю ограждения.

Если известны звукоизолирующая способность ограждения R и щели или отверстия R_1 , то снижение звукоизолирующей способности ограждения в результате прохождения звука через отверстие или щель определяют по формуле

$$\Delta R = 10 \lg \left[1 + \frac{S_1}{S} 10^{0,1 (R - R_1)} \right], \quad (54)$$

где S_1 и S — площади соответственно щели и всего ограждения.

Из формулы (54) видно, что ухудшение звукоизоляции тем значительнее, чем больше площадь щели или отверстия и разность звукоизолирующей способности ограждения и щели. Звукоизолирующая способность ограждения растет, а щели снижается с увеличением частоты, поэтому влияние щелей на низких частотах должно быть незначительным и резко возрастать на высоких частотах.

Рассмотренные закономерности дают только качественную картину влияния отверстий и щелей на звукоизоляцию. Более точно оценить их влияние можно на основании экспериментальных исследований конкретных конструктивных решений.

Появление сквозных щелей возможно в элементах ограждений еще до начала эксплуатации здания как результат несовершенных проектных решений или отклонений от проекта при производстве строительных работ. Однако в большинстве случаев образование и раскрытие сквозных щелей происходит во время эксплуатации здания в основном в стыках сборных конструкций и тех деталях ограждений, которые связаны с инженерным оборудованием (см. п.5).

Вероятность образования в стыке трещины или щели зависит в первую очередь от возможных взаимных перемещений стыкуемых элементов при эксплуатации здания. Такие перемещения периодически возникают между элементами наружных стен, подверженных температурным деформациям, и внутренними конструкциями здания; между ненесущими перегородками, установленными на перекрытии, и другими не связанными с прогибами этого перекрытия элементами здания; между перекрытиями и самостоятельно стоящими стенами, вентиляционными

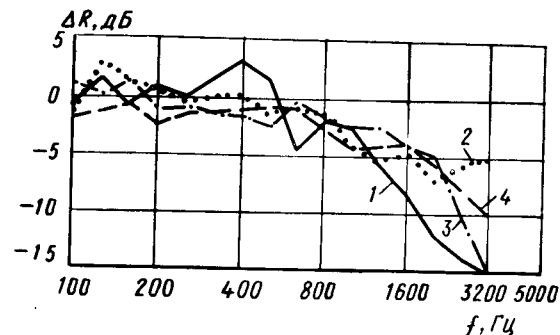


Рис.12. Изменение звукоизолирующей способности междуэтажных перекрытий в процессе эксплуатации
1 — перекрытие из сплошных панелей ($h = 14$ см) с полом из линолеума на войлочной подоснове (дом из вибропрокатных панелей); 2 — то же, $h = 16$ см со стяжкой и линолеумом на войлочной подоснове (экспериментальный дом); 3 — перекрытие из шатровых панелей с деревянным полом (дом серии 1ЛГ-507); 4 — перекрытие из многоступенчатых настилов со стяжкой и линолеумом на войлочной подоснове (дом серии 1-528КП-40)

блоками. Другой важный фактор, от которого зависит вероятность появления сквозных щелей, — конструкция узла, где сопрягаются элементы: взаимное расположение стыкуемых и примыкающих элементов, заполнение зазоров в стыке и применяемые для этого материалы и т.д. Наиболее опасны стыки, расположенные в пределах помещения и не перекрытые другими конструкциями.

Значения изменения в процессе эксплуатации звукоизолирующей способности ΔR перекрытий получены в результате натурных измерений, которые выполнены до сдачи дома и в период его эксплуатации (данные автора). Несмотря на большие различия в конструкции несущей части перекрытия и пола, характер изменения звукоизоляции у всех перекрытий одинаков (рис.12). Полученные частотные характеристики ΔR вполне согласуются с теоретическими представлениями о влиянии на звукоизолирующую способность ограждения прохождения звука через щели. Наиболее вероятно, что трещины появились или раскрылись: в доме из вибропрокатных панелей — в стыках перекрытий с ненесущими наружными стенами, в кирпичном доме серии 1-528КП-40 и в экспериментальном доме с широким шагом несущих стен — в расположенных в пределах помещения стыках между настилами перекрытий и в местах их свободного примыкания к наружным стенам, в крупнопанельном доме с тремя продольными несущими стенами серии 1ЛГ-507 — в

узле, где стыкуются между собой ребра шатровых панелей и где к ним примыкают гипсобетонные перегородки. Снижение индекса изоляции воздушного шума ΔI_v в рассмотренных случаях составило 2–3 дБ.

Обнаружено также снижение звукоизоляции помещений в среднем на 3 дБ в результате образования сквозных щелей в местах примыкания несущих перегородок к потолку (меры по герметизации этого стыка не были приняты).

Возможные изменения звукоизоляции в результате образования или раскрытия щелей в стыках зависят от взаимодействия рассматриваемого ограждения с другими конструкциями здания. При проектировании необходимы специальные конструктивные меры по обеспечению цельности сопряжений элементов, которые во время эксплуатации здания подвержены взаимным перемещениям. Если такие меры не предусмотрены, следует при расчете индексов изоляции воздушного шума учитывать их снижение в процессе эксплуатации здания, вводя поправки Δ_1 на возможное ухудшение звукоизоляции, связанное с прохождением звука через щели в стыках. Принимают следующие значения этой поправки, дБ: в случае примыкания перегородок к потолку и несущим стенам — минус 3; в случае примыкания внутренних стен и перегородок к наружным стенам и примыкания междуэтажных перекрытий к наружным или внутренним стенам — минус 2; при наличии во внутренних ограждающих конструкциях стыков, расположенных в пределах помещения, — минус 1.

5. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ОГРАЖДЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С ИНЖЕНЕРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Основными видами инженерного оборудования, расположенного непосредственно в жилых помещениях, являются электропроводка и отопление. В настоящее время электропроводка в жилых домах устраивается скрытой, причем провода и приборы (штепсельные розетки, выключатели, распаечные коробки и др.) устанавливают в элементах внутренних стен и перекрытий. Для прокладки проводов используют каналы и штрабы, в отдельных случаях их закладывают при бетонировании конструкций. Для установки приборов электросети, для пропуска проводов в соседние помещения или в примыкающие конструкции в сборных элементах делают отверстия и лунки. Последние с установленными в них приборами электросети являются слабыми местами ограждения, в которых имеются или образуются в процессе эксплуатации сквозные щели. Об их влиянии на звукоизоляцию свидетельствуют результаты натурных испытаний в крупнопанельных домах различных серий [17]¹. Испытанные стены имеют

два вида сквозных отверстий: полукруглые лунки радиусом 7 см для распаечных коробок, расположенные под потолком помещения, и круглые отверстия диаметром 7 см для штепсельных розеток. Лунки прикрыты с двух сторон пластмассовыми крышками, а в круглых отверстиях с обеих сторон установлены штепсельные розетки в металлических коробках.

Натурные измерения в крупнопанельных домах серии 1–464–А, 1–464–Д, 1–464–М, 1–464–С и 4570/63 показали, что при указанном способе установки устройств электропроводки индекс звукоизоляции снижается на 1,2–3,2 дБ. Заполнение пространства лунки между пластмассовыми крышками минеральной ватой или заделка их с двух сторон цементным раствором по древесноволокнистым плитам незначительно улучшают звукоизоляцию. Это объясняется появлением в растворе усадочных трещин и наличием щелей между пластмассовыми крышками и поверхностью панели.

В многэтажных зданиях применяют в основном радиаторную систему водяного отопления, реже — панельные системы отопления с трубными обогревателями, вбетонированными в стены или перекрытия. При радиаторном отоплении стояки, как правило, открыты либо находятся в теле элементов стен. При панельном отоплении стояк замоноточен. В случае открытой установки стояков в месте пропуска трубы через перекрытие оно ослаблено. В этом месте трудно избежать образования сквозных щелей в результате температурных деформаций и перемещений трубы. В случае же расположения стояков в теле элементов внутренних стен в них устраивают монтажные проемы для соединения труб соседних этажей. Последующая заделка проемов не исключает образования в этом месте трещин вследствие усадки монтажного бетона или раствора.

В доме серии 1–464А–ЛТ в Вильнюсе дважды измеряли звукоизоляцию перекрытий из железобетонных панелей толщиной 14 см с полом из линолеума на войлочной основе [14]. Первое измерение выполнено при обычной заделке места пропуска стояка отопления через перекрытие: труба пропущена в металлической гильзе, зазор между гильзой и стенками отверстия в панели перекрытия замоноточен раствором. При втором измерении место входа трубы в гильзу было дополнительно залито гипсовым раствором. Эта мера привела к повышению индекса изоляции воздушного шума в среднем на 1 дБ. Снижение звукоизоляции также на 1 дБ в процессе эксплуатации здания отмечено при испытании перекрытий из опертых по контуру панелей размером на комнату, в которых наиболее вероятно образование щели в месте пропуска стояка.

Таким образом, при проектировании зданий необходимо предусматривать меры, исключающие прохождение звука через щели в деталях ограждений, связанных с инженерным оборудованием. Если такие меры не предусмотрены, необходимо при

¹ Методика определения влияния на звукоизоляцию ослабленных электропроводкой участков стен описана в гл. III.

расчете индексов изоляции воздушного шума учитывать их снижение в результате прохождения звука через щели, вводя поправку Δ_1 : для случая установки устройств электропроводки в сквозных отверстиях, полостях внутренних стен и перегородок $\Delta_1 = -2$ дБ, для случая пропуска стояка через перекрытие $\Delta_1 = -1$ дБ.

При неправильном решении узла в месте пропуска стояка отопления через перекрытие возможно образование жесткой связи между раздельным полом и несущей частью перекрытия. По данным натурных и лабораторных измерений, это приводит к ухудшению изоляции ударного шума на 3–6 дБ в зависимости от материала звукоизоляционной прослойки (см. п.10).

Натурные и лабораторные исследования [16] показали, что при использовании облегченных радиаторов отопления (штампованных из стального листа, типа "Аккорд" и т.д.) происходит косвенная передача звука по стоякам отопления, снижающая изоляцию воздушного шума на 1–2 дБ. Снижение звукоизолирующей способности перекрытия носит резонансный характер и происходит вблизи низшей собственной частоты (2000–2500 Гц) системы радиатор–стояк отопления.

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ВЫБОРА КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОГРАЖДЕНИЙ

Полученные на основе анализа и обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований зависимости индексов звукоизоляции от характеристик материалов, конструкций, конструктивно-планировочной структуры здания и других параметров с достаточным для практических целей приближением отражают фактическое влияние этих параметров на звукоизоляцию помещений. Эти зависимости положены в основу практических методов расчета [9, 19, 39, 49, 54], позволяющих выбрать оптимальное сочетание изменяемых при проектировании характеристик, обеспечивающее нормативную звукоизоляцию помещений.

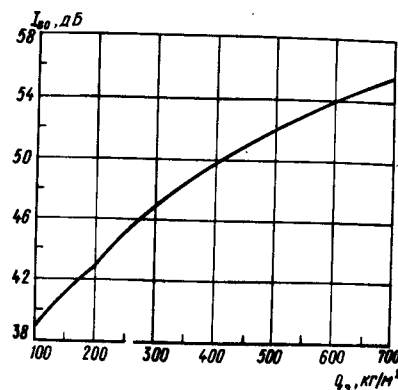
Расчетный индекс изоляции воздушного шума определяют по формуле

$$I_B = I_{B1} + \Delta_1 + \Delta_2, \quad (55)$$

где I_{B1} — индекс изоляции воздушного шума, определяемый без учета изменений, происходящих в результате образования или раскрытия сквозных щелей в элементах ограждения и при обычных условиях работы конструкции;

Δ_1 — поправка, учитывающая изменение звукоизоляции

Рис.13. Индекс изоляции воздушного шума I_{B0} акустически однородных ограждений из бетона



во времени в результате образования или раскрытия щелей;

Δ_2 — поправка, учитывающая особые условия работы конструкции.

Значения Δ_1 даны в пп. 4 и 5. В случаях, отличных от указанных, принимают $\Delta_1 = 0$. Поправку Δ_2 для стены из панели, размеры которой больше размеров разделяемых помещений, определяют по формуле (50). Для акустически однородного перекрытия из железобетонной плиты с полом из линолеума на мягкой подоснове поправку Δ_2 можно определить по формулам (48) и (49) в зависимости от отношения толщин, выполненных из одного материала элементов внутренней несущей стены и перекрытия h^c/h^n . В случае, если плиты перекрытия имеют круглые пустоты,

$$h^n = h_{np} k, \quad (56)$$

где h_{np} — приведенная толщина бетона плиты с круглыми пустотами;

k — подсчитывают по формуле (22).

В других случаях $\Delta_2 = 0$.

Индекс I_{B1} для акустически однородного ограждения из бетона принимают равным величине I_{B0} , определяемой по графику (рис.13) в зависимости от его эквивалентной поверхностной плотности q_3 . Эквивалентную поверхностную плотность определяют по формуле (19) как произведение поверхностной плотности конструкции q и коэффициента k , учитывающего влияние характеристик материала и сечения конструкции.

Для конструкций сплошного прямоугольного или ребристого сечения из тяжелого бетона принимают $k = 1$, а из легкого бетона на гипсовом вяжущем плотностью не более 1400 кг/м^3 — $k = 1,3$.

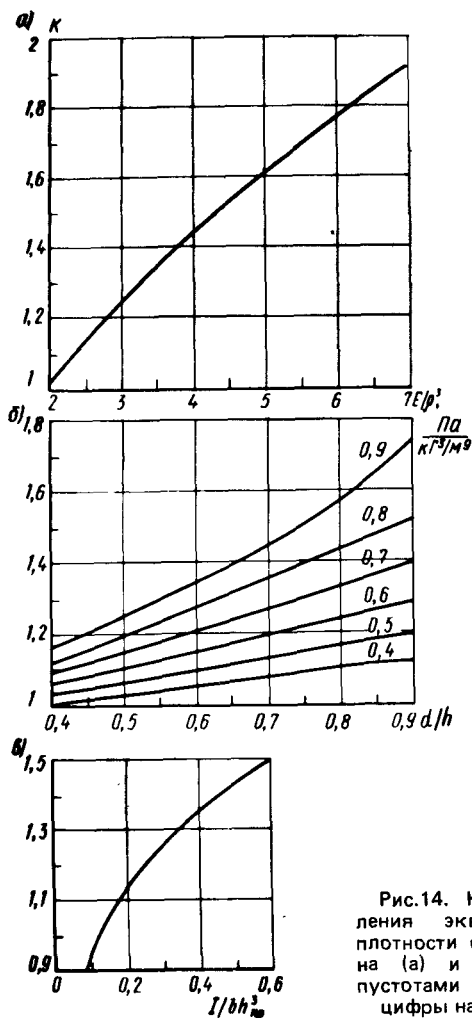


Рис.14. Коэффициент k для определения эквивалентной поверхностной плотности ограждений из легкого бетона (а) и из элементов с круглыми пустотами (б, в) цифры на кривых — d/a

Если конструкции таких сечений выполнены из легкого бетона на пористых заполнителях и цементном вяжущем, коэффициент k можно находить по графику (рис.14,а) в зависимости от величины E/ρ^3 (E — модуль упругости легкого бетона, Па; ρ — плотность бетона, $\text{кг}/\text{м}^3$). Для плит с симметрично расположенными пустотами из тяжелого бетона коэффициент k можно принимать по графику (рис.14,б) в зависимости от отношений диаметра

пустоты к полной высоте плиты d/h и к расстоянию между осями пустот d/a . Для плит с круглыми пустотами, расположенными несимметрично, а также при заполнении пустот сыпучим материалом коэффициент k можно определять по графику (рис.14,в) в зависимости от отношения $I/bh_{\text{пр}}^2$ (где I — момент инерции сечения плиты шириной b ; $h_{\text{пр}}$ — приведенная толщина бетона плиты). Если плиты с круглыми пустотами выполнены из легкого бетона, коэффициент k можно определить как произведение коэффициентов, принятых по графикам (рис.14,а, в) для соответствующих значений E/ρ^3 и $I/(b h_{\text{пр}}^2)$.

Требуемую эквивалентную поверхностную плотность акустически однородной конструкции из бетона можно определить по графику (см. рис.13) в зависимости от величины $I_{\text{в0}}$, подсчитываемой по формуле

$$I_{\text{в0}} = I_{\text{в}}^{\text{н}} - \Delta_1 - \Delta_2, \quad (57)$$

где $I_{\text{в}}^{\text{н}}$ — нормируемое значение индекса изоляции воздушного шума для рассматриваемой конструкции.

При определении величины Δ_2 для акустически однородного перекрытия с полом из линолеума на мягкой подоснове предварительно задаются толщиной плиты перекрытия $h_1^{\text{н}}$. Если полученная в результате расчета требуемая толщина плит $h^{\text{н}}$ не совпадает с принятой толщиной $h_1^{\text{н}}$, то расчет повторяют. При этом для определения Δ_2 задаются новым значением толщины плиты $h_2^{\text{н}}$. Если $h^{\text{н}} > h_1^{\text{н}}$, принимают $h_2^{\text{н}} > h^{\text{н}}$; если $h^{\text{н}} < h_1^{\text{н}}$, принимают $h_2^{\text{н}} < h^{\text{н}}$.

Для железобетонной плиты с круглыми пустотами, заполненными сыпучим материалом (песком, шлаком, керамзитом и т.д.), если площадь сечения заполняемых пустот не меньше 25% площади сечения плиты, $I_{\text{в}}$ подсчитывают по формуле

$$I_{\text{в1}} = I_{\text{в0}} + 1,5, \quad (58)$$

где $I_{\text{в0}}$ — принимают по графику рис.13 для акустически однородного ограждения, эквивалентную поверхностную плотность которого определяют с учетом полной массы ограждения, включая материал заполнения пустот; при определении коэффициента k по графику рис.14,в принимают значение $h_{\text{пр}}$, найденное по формуле

$$h_{\text{пр}} = q / \rho, \quad (59)$$

где q — поверхностная плотность конструкции с учетом материала заполнения пустот;
 ρ — плотность бетона.

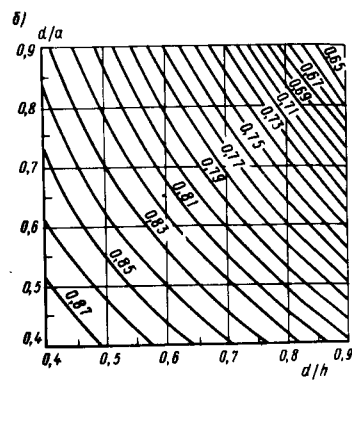
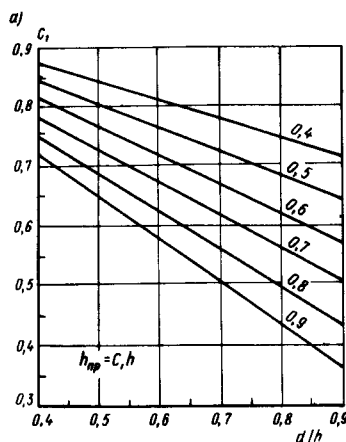


Рис.15. Графики для определения требуемых геометрических параметров плит с круглыми пустотами
цифры на кривых: рис.а — отношение d/a ; рис.б — значение C

Требуемую величину q_3^{TP} для плиты с круглыми пустотами, заполненными сыпучим материалом, можно определить по графику рис.13 в зависимости от величины I_{BO} , подсчитываемой по формуле

$$I_{BO} = I_B^H - \Delta_1 - \Delta_2 - 1,5. \quad (60)$$

Если величина q_3^{TP} известна, требуемую поверхностную плотность акустически однородной бетонной конструкции определяют по формуле

$$q_3^{TP} = q_3^{TP} / k, \quad (61)$$

где k находят по графикам рис.14.

Так как до определения требуемой поверхностной плотности пустотной плиты ее геометрические параметры неизвестны, нельзя непосредственно вычислить коэффициент k . Возможны два приема для преодоления этой трудности.

1. Задаются отношениями d/h и d/a и находят k по графику рис.14. Тогда по известному значению требуемой поверхностной плотности определяют требуемую приведенную толщину бетона плиты ($h_{пр}^{TP} = q_3^{TP} / \rho$) и требуемую полную толщину плиты по формуле

$$h^{TP} = h_{пр}^{TP} / C_1, \quad (62)$$

где величину C_1 находят по графику (рис.15,а) в зависимости от отношений d/h и d/a .

2. Задаются полной толщиной плиты h . Подсчитывают величину C :

для плит из тяжелого бетона

$$C = \frac{q_3^{TP}}{2500 h}; \quad (63)$$

для плит из легкого бетона

$$C = \frac{q_3^{TP}}{k^1 \rho h}, \quad (64)$$

где q_3^{TP} — требуемая эквивалентная поверхностная плотность плиты, $кг/м^2$;

h — толщина плиты, м;

ρ — плотность легкого бетона, $кг/м^3$;

k^1 — коэффициент, определяемый по графику рис.14 для соответствующего значения E/ρ^3 .

Задаются отношением диаметра пустот к толщине плиты d/h и по графику рис.15,б определяют отношение диаметра пустот к расстоянию между их осями d/a . При известных величинах d/h и d/a по графику рис.15,а находят C_1 и подсчитывают требуемую приведенную толщину бетона ($h_{пр}^{TP} = h C_1$).

Сечение плиты с симметрично расположенными круглыми пустотами полностью определяется тремя геометрическими параметрами: h , d/h и d/a . Указанные приемы позволяют, задавшись двумя параметрами, определить третий.

Описанные практические методы дают возможность не только подобрать один требуемый параметр акустически однородной конструкции, обеспечивающей заданный индекс звукоизоляции, при известных значениях других параметров, но и проанализировать взаимные зависимости различных параметров при условии сохранения определенной звукоизоляции. Например, при изменении плотности легкого бетона изменяется требуемая поверхностная плотность выполненной из него межквартирной стены с индексом изоляции воздушного шума $I_B = 50$ дБ (рис.16,а). Эта зависимость получена при следующих средних соотношениях плотности ρ и модуля упругости E легкого бетона:

$\rho, кг/м^3$	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800
$E \cdot 10^{-9}, Па$	8	8,7	9,5	10,2	11	12,2	13,5	15

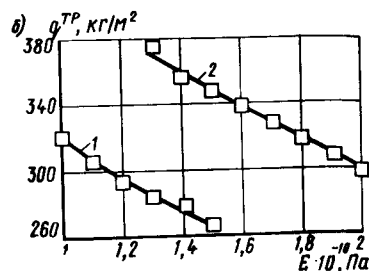
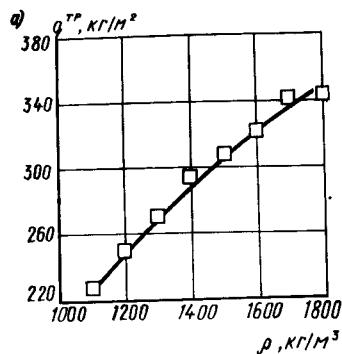


Рис.16. Требуемая поверхностная плотность q^{TP} межквартирных стен из легкого бетона
 а — в зависимости от плотности бетона при средних значениях модуля упругости; б — в зависимости от модуля упругости легкого бетона
 1 — бетон плотностью 1500 кг/м³; 2 — то же, 1800 кг/м³

Известно, что с помощью изменения технологических параметров при изготовлении легкого бетона (его структуры, вида мелкого и крупного заполнителя и т.д.) можно при заданной плотности получить легкие бетоны с модулем упругости, значительно отличающимся от среднего значения, приведенного выше. Например, модуль упругости легкого бетона плотностью 1500 кг/м³ может меняться от 10^{10} до $1,5 \cdot 10^{10}$ Па, а плотностью 1800 кг/м³ — в пределах $(1,3 \dots 2) \cdot 10^{10}$ Па.

Изменение модуля упругости бетона заданной плотности приводит к значительному изменению требуемой поверхностной плотности межквартирной стены из этого бетона (рис.16,б).

Требуемую поверхностную плотность q^{TP} стен или перегородок из кирпича, керамических или шлакобетонных мелких блоков, оштукатуренных с двух сторон, можно находить в зависимости от I_{BO} (рис.17), вычисляемого из выражения

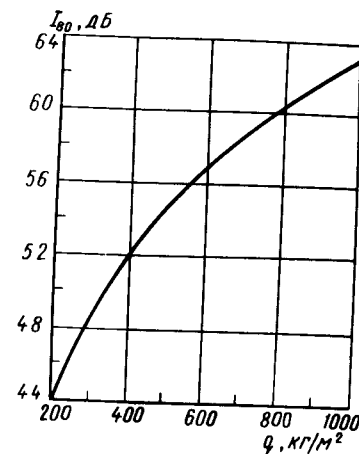
$$I_{BO} = I_B^H - \Delta_1. \quad (65)$$

Индекс изоляции воздушного шума I_{B1} двойных внутренних стен и перегородок можно определять по формуле

$$I_{B1} = I_{BO} + \Delta_{1B}, \quad (66)$$

где I_{BO} — принимают для двойных стен из бетона по графику рис.13 и из кирпичной кладки по графику рис.17 для

Рис.17. Индекс изоляции воздушного шума I_{BO} акустически однородных стен из кирпича, оштукатуренных с двух сторон



суммарной эквивалентной поверхностной плотности (или суммарной поверхностной плотности) ограждения.

Для двойных стен и перегородок с суммарной поверхностной плотностью не более 400 кг/м², имеющих жесткую связь между элементами по контуру ограждения, принимают следующие значения поправки Δ_{1B} , дБ: при толщине промежутка между элементами двойного ограждения $h_n \leq 2$ см — 0; при $h_n = 4$ см — 3,6; при $h_n = 6$ см — 5,4. Если элемент двойной стены, а также примыкающие к нему со стороны одного изолируемого помещения конструкции не имеют жестких связей с другим элементом двойной стены и примыкающими к нему со стороны другого помещения конструкциями (например, в месте устройства деформационного шва здания), то при $h_n = 2$ см $\Delta_{1B} = 4$ дБ; при $h_n = 4$ см $\Delta_{1B} = 6$ дБ.

Указанные значения Δ_{1B} получены в результате обобщения результатов натурных измерений звукоизоляции двойными перегородками из гипсобетонных и легкобетонных панелей [23, 33, 48].

Расчетное значение индекса изоляции воздушного шума I_{B1} междуэтажными перекрытиями с полом на звукоизоляционной прослойке определяют по формуле

$$I_{B1} = I_B^{H.ч} + \Delta_{1B}, \quad (67)$$

где $I_B^{H.ч}$ — индекс звукоизоляции несущей части перекрытия;
 Δ_{1B} — поправка, учитывающая влияние пола.

Если несущая часть перекрытия из железобетонных плит имеет сплошное прямоугольное, ребристое или пустотное сечение, $I_{\text{в}}^{\text{н.ч}} = I_{\text{в}0}$. Если в плите пустотного сечения круглые пустоты заполнены сыпучим материалом (песком, шлаком и т.д.), $I_{\text{в}}^{\text{н.ч}} = I_{\text{в}0} + 1,5$. Поправку $\Delta I_{\text{в}}^{\text{н.ч}}$ вычисляют по формуле (29) в зависимости от значений $I_{\text{в}}^{\text{к}}$, $I_{\text{в}}^{\text{н.ч}}$ и $\Delta_{\text{в}} = \Delta_{\text{в}1} + \Delta_{\text{в}2}$, значение $I_{\text{в}}^{\text{к}}$ подсчитывают по формуле (30), $\Delta_{\text{в}1}$ находят по графику (рис.18) в зависимости от отношения поверхностных плотностей перекрытия и его несущей части $q_{\text{полн}}$, средней толщины промежутка

$$q_1$$

между несущей частью перекрытия и полом $h_{\text{с.п}}$ и собственной частоты f_0 .

Величину $\Delta_{\text{в}2}$, учитывающую потери звуковой энергии в материале звукоизоляционной прослойки, принимают для сыпучих материалов (песка, шлака и т.д.) равной 1,5; для остальных материалов — 0.

Частоту собственных колебаний пола рассчитывают по формуле (27). При жесткой конструкции пола (пол на лагах, из паркетных щитов, досок, древесностружечных плит, на монолитном или сборном бетонном основании) линейную динамическую жесткость определяют как отношение (28), а толщину звукоизоляционной прослойки в обжатом состоянии — из выражения (52).

Если покрытие пола (штучный или ковровый паркет, линолеум и т.д.) укладывают непосредственно на материалы, образующие звукоизоляционную прослойку (слоистый пол), ее линейная динамическая жесткость будет зависеть от деформативности материалов в контактах между слоями. В этих случаях нужно использовать значения линейной динамической жесткости, определяемые экспериментально (см. п.10).

Расчетный индекс приведенного уровня ударного шума $I_{\text{у}}$ междуэтажного перекрытия определяют по формуле

$$I_{\text{у}} = I_{\text{у}}^{\text{н.ч}} - \Delta I_{\text{у}}, \quad (68)$$

где $I_{\text{у}}^{\text{н.ч}}$ — индекс приведенного уровня ударного шума несущей части перекрытия;

$\Delta I_{\text{у}}$ — величина, на которую улучшилась изоляция ударного шума в результате устройства пола.

Если несущей частью перекрытия служит акустически однородная железобетонная плита, $I_{\text{у}}^{\text{н.ч}} = I_{\text{у}0}$. Величину $I_{\text{у}0}$ находят из графика (рис.19). Если же несущая часть перекрытия — железобетонная плита с круглыми пустотами, заполненными сыпучим материалом (песком, шлаком и т.д.),

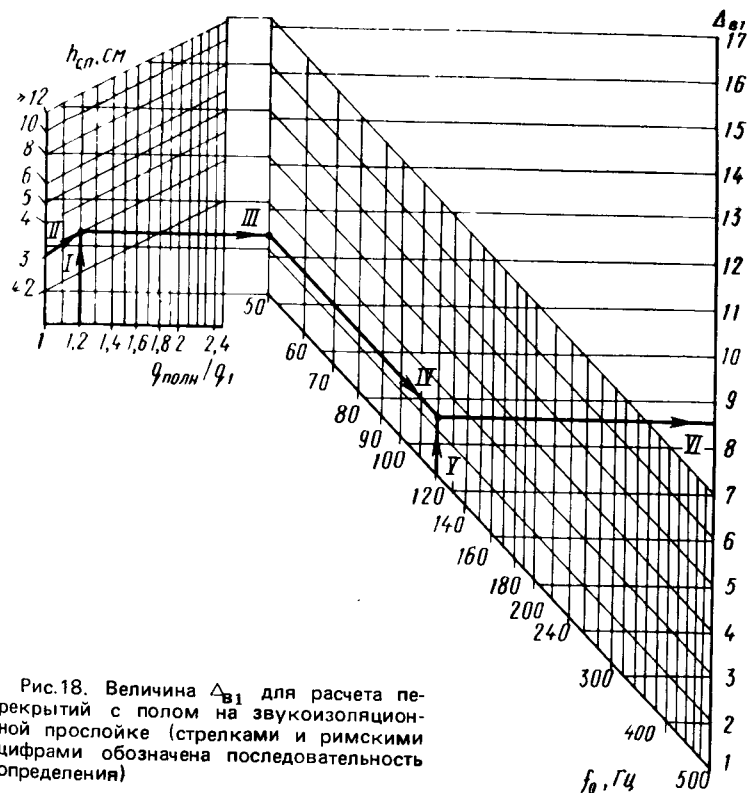


Рис.18. Величина $\Delta_{\text{в}1}$ для расчета перекрытий с полом на звукоизоляционной прослойке (стрелками и римскими цифрами обозначена последовательность определения)

$$I_{\text{у}}^{\text{н.ч}} = I_{\text{у}0} - 1,5, \quad (69)$$

где $I_{\text{у}0}$ — определяют по графику (рис.19) для полной поверхностной плотности плиты с учетом массы материала, заполняющего пустоты.

В случае мягких покрытий пола, уложенных непосредственно по несущей части или по выравнивающей стяжке, улучшение изоляции ударного шума $\Delta I_{\text{у}}$ будет соответствовать тем данным, которые приведены в п.4. Если полы уложены на звукоизоляционной прослойке (полы раздельные, слоистые)

$$\Delta I_{\text{у}} = \Delta_{\text{у}1} + \Delta_{\text{у}2} + \Delta_{\text{у}3}, \quad (70)$$

где величину $\Delta_{\text{у}1}$ можно находить из графика (рис.20), построенного по формуле (42) в зависимости от трех параметров: индек-

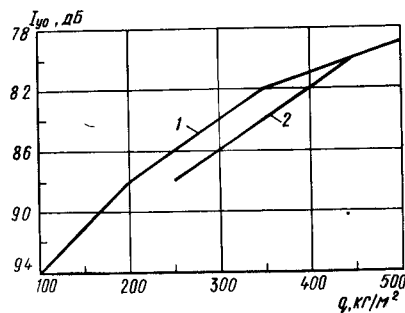


Рис. 19. Индекс приведенного уровня ударного шума I_{yo} акустически однородных бетонных элементов перекрытия
1 — сплошного или ребристого сечения; 2 — пустотного сечения

са $I_y^{H.4}$, средней толщины промежутка между полом и несущей частью $h_{c.n}$ и нижней собственной частоты пола f_o , которую подсчитывают по формуле (27); величины Δ_{y2} и Δ_{y3} , учитывающие влияние на изоляцию ударного шума материала, конструкции пола и потерь в звукоизоляционной прослойке, приведены в п.2.

Описанные методы расчета индекса изоляции воздушного шума и приведенного уровня ударного шума перекрытий с полом на звукоизоляционной прослойке использованы в главе СНиП II-12-77, в которой в табличной форме (табл.10, 12) приведены величины I_B и I_Y , подсчитанные этими методами для выбранного ряда значений $I_B^{H.4}$, $I_Y^{H.4}$, f_o и других конструктивных параметров перекрытия. Такая форма представления данных помогает упростить расчет. Однако ей присущи недостатки: необходимость интерполяции для промежуточных значений изменяемых параметров, что связано с определенной потерей точности; большее ограничение пределов изменения конструктивных характеристик, что исключает возможность расчета некоторых конструкций; отсутствие аналитических выражений зависимостей индексов I_B и I_Y от изменяемых при конструировании параметров, необходимых для математического решения задач по оптимизации проектных решений.

При заданной конструкции несущей части и пола требуемую линейную динамическую жесткость S^{TP} , Па/м, звукоизоляционной прослойки можно найти из выражения

$$S^{TP} = \frac{40 f_o^2}{\frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2}}, \quad (71)$$

где q_1 и q_2 — поверхностные плотности соответственно несущей части перекрытия и пола (без звукоизоляционной прослойки), кг/м²;

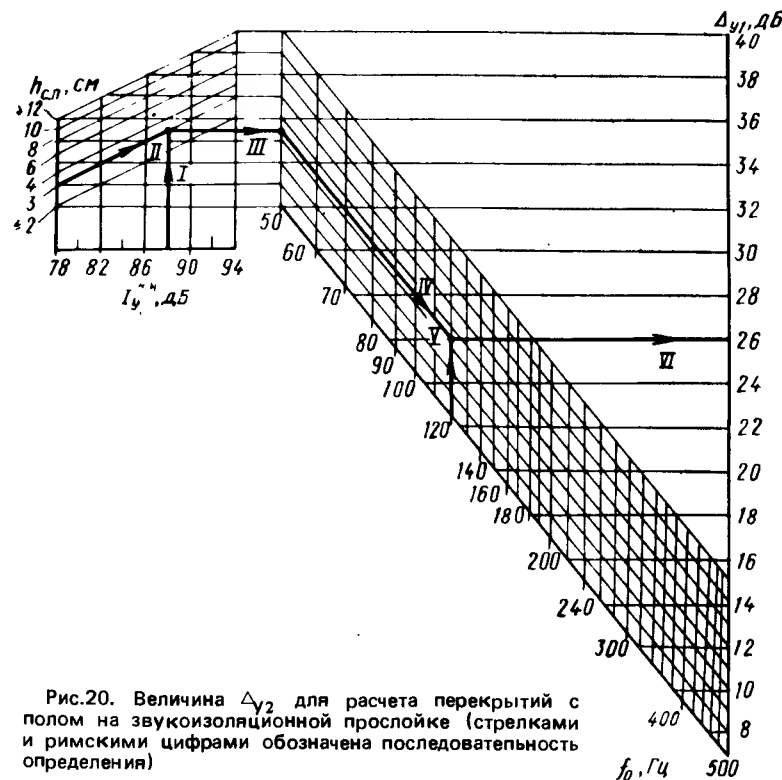


Рис.20. Величина Δ_{y2} для расчета перекрытий с полом на звукоизоляционной прослойке (стрелками и римскими цифрами обозначена последовательность определения)

f_o — меньшее из двух значений нижней собственной частоты f_o' и f_o'' , Гц, которые определяют из условий обеспечения требуемой изоляции воздушного и ударного шума.

Величину f_o' можно находить по графику в зависимости от $q_{полн}/q_1$, $h_{c.n}$ и Δ_{B1} (см. рис.18). Для определения отношения $q_{полн}/q_1$ и $h_{c.n}$ предварительно задаются толщиной звукоизоляционной прослойки h_3^1 . Величину Δ_{B1} вычисляют по формуле

$$\Delta_{B1} = \Delta_B - \Delta_{B2}, \quad (72)$$

где Δ_B подсчитывают по выражению

$$\Delta_B = (I_B^H - \Delta_1 - I_B^{H.4} + 3) - \frac{0.5 I_B^K - 15}{I_B^K - I_B^{H.4} + 2}. \quad (73)$$

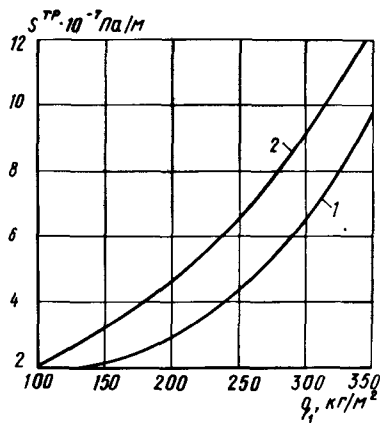


Рис. 21. Требуемая линейная жесткость S^{TP} (не более) звукоизоляционной прослойки перекрытия в зависимости от поверхностной плотности несущей его части

1 — деревянный пол по лагам и т.д. ($q_2 = 25 \text{ кг/м}^2$); 2 — пол по бетонному основанию ($q_2 = 80 \text{ кг/м}^2$)

Величину Δ_{B2} принимают в зависимости от материала звукоизоляционной прослойки.

Из условия обеспечения требуемой изоляции ударного шума низшую собственную частоту пола f_0'' находят по графику (см. рис.20) в зависимости от трех параметров: $I_Y^{H,Ч}$, $h_{с.п}$ и Δ_{Y1} . Величину Δ_{Y1} определяют по формуле

$$\Delta_{Y1} = I_Y^{H,Ч} - I_Y^H - \Delta_{Y2} - \Delta_{Y3}, \quad (74)$$

где Δ_{Y2} и Δ_{Y3} принимают в зависимости от материала, конструкции пола и материала звукоизоляционной прослойки (см. п.2).

При известном значении S^{TP} для жесткой конструкции пола требуемую толщину звукоизоляционной прослойки в обжатом состоянии h_3^{TP} определяют из отношения

$$h_3^{TP} = E_d / S^{TP}. \quad (75)$$

Если h_3^{TP} отличается от принятого в начале расчета значения h_3^1 более чем на 5 мм, расчет необходимо повторить, задавшись толщиной звукоизоляционной прослойки, равной среднему значению между h_3^1 и h_3^{TP} .

Требуемую толщину материала в необжатом состоянии h^{TP} вычисляют по формуле

$$h^{TP} = \frac{h_3^{TP}}{1 - \varepsilon_d}. \quad (76)$$

Значения E_d и ε_d , входящие в формулы (75) и (76), принимают по табл.1.

Приведенный метод расчета позволяет выявлять взаимные зависимости различных конструктивных параметров перекрытия при условии обеспечения заданной изоляции воздушного и ударного шума. На рис.21 в качестве примера показана зависимость требуемой жесткости звукоизоляционной прослойки от поверхностной плотности несущей части перекрытия из тяжелого бетона, полученная расчетом для двух конструкций пола при $I_B \geq 50 \text{ дБ}$ и $I_Y \leq 67 \text{ дБ}$. Такие зависимости позволяют определять оптимальное соотношение конструктивных параметров перекрытия с учетом экономических требований.

Конструирование внутренних ограждений зданий из объемных блоков, перекрытий с отдельным потолком, многослойных легких перегородок следует выполнять на основе экспериментов с использованием рассмотренных выше зависимостей их звукоизоляционных качеств от конструктивных и планировочных параметров.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ УТОЧНЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НОВЫХ ТИПОВ ОГРАЖДЕНИЙ

Теоретическое рассмотрение, использование практических методов расчета не всегда позволяют с достаточной точностью и надежностью установить конструктивные параметры ограждений, необходимые для обеспечения требуемой звукоизоляции помещений, особенно в условиях длительной эксплуатации зданий. Это в первую очередь относится к внедрению новых, ранее не применявшихся конструкций, материалов либо использованию известных конструктивных решений в зданиях с новой конструктивно-планировочной структурой. В этих случаях оказывается необходимым экспериментальное уточнение требуемых конструктивных параметров ограждений, которое является составной частью комплексного процесса конструирования жилого дома. Ниже приводятся экспериментальные данные автора (за исключением оговоренных случаев), полученные в результате исследований, выполненных в жилых домах и на испытательном стенде ЦНИИЭП жилища. Все измерения звукоизоляции проведены по стандартной методике [4] с использованием акустической аппаратуры фирмы "Брюль и Кьер" (Дания).

Испытательный стенд состоит из двух расположенных одна над другой прямоугольных камер, между которыми устроен проем, позволяющий монтировать образцы перекрытия размером до 6 x 3,6 м. Объем нижней камеры около 50, верхней — 80 м³. Стены камер кирпичные толщиной в 1,5 и 2 кирпича. Специальных мер для снижения косвенной передачи звука по стенам не принимали, поэтому ее интенсивность примерно такая же, как в жилых зданиях.

Для обеспечения точности полученных результатов в натурных условиях испытывали, как правило, 6—10 одинаковых конструкций, а на испытательном стенде проводили необходимое число повторных измерений каждого образца. Приводимые ниже частотные характеристики звукоизоляции являются средними: ордината на каждой частоте есть среднеарифметическое значение ординат, полученных при отдельных измерениях на этой частоте; средний индекс звукоизоляции есть среднеарифметическое значение индексов, зафиксированных при отдельных измерениях.

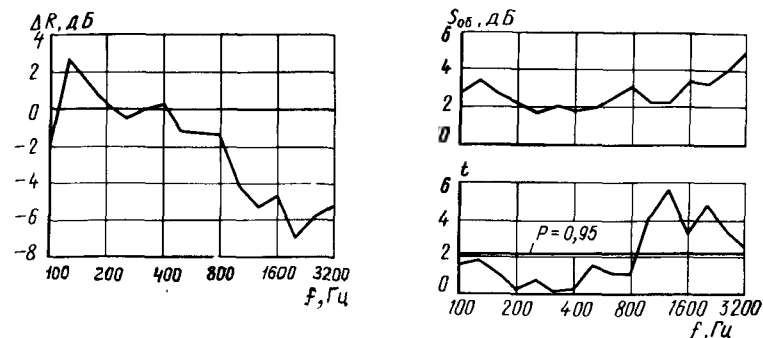


Рис. 22. Проверка значимости изменений звукоизолирующей способности перекрытий после двух лет эксплуатации

При определении влияния воздействующих факторов средние индексы звукоизоляции приводятся с точностью до 0,1 дБ, при оценке соответствия конструкции нормативным требованиям они округляются до целого числа децибел [9].

Для оценки значимости изменений звукоизоляции, получаемых как результат изменения какого-либо влияющего параметра, использованы методы математической статистики. В частности, применена оценка значимости по критерию Стьюдента [43, 57] при доверительной вероятности 0,95. На рис.22 в качестве примера показана оценка значимости изменений звукоизолирующей способности, выявленных в результате испытания перекрытий из железобетонных панелей большого пролета толщиной 16 см с полимерцементной стяжкой и линолеумом на войлочной основе до сдачи дома и после двух лет его эксплуатации. В первом случае испытано 11, а во втором 10 перекрытий. На рисунке кроме зафиксированных изменений звукоизолирующей способности перекрытия ΔR приведены вычисленные для каждой частоты общие для двух серий измерений среднеквадратичные отклонения $s_{\text{общ}}$ и значения критерия Стьюдента t , которые определены по формуле

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_{\text{общ}} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad (77)$$

где $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ — средние значения измеряемого параметра в первой и второй выборках экспериментальных данных;
 n_1 и n_2 — число данных (измерений) в первой и второй выборках.

При суммарном числе измерений $n_1 + n_2 = 21$ доверительной вероятности $P = 0,95$ соответствует значение критерия Стьюдента $t = 2,09$. Значимыми с вероятностью 0,95 могут быть признаны только те из измеренных изменений, для которых значение критерия Стьюдента больше указанного значения или равно ему. Из графика (рис.22) видно, что значимыми могут быть признаны изменения звукоизолирующей способности перекрытия на частотах 1000–3200 Гц. Изменения, отмеченные на других частотах, можно объяснить случайным разбросом результатов измерений.

Аналогичная методика использована для оценки значимости изменений индексов звукоизоляции, связанных с изменением величин варьируемых при эксперименте параметров.

7. КОНСТРУКЦИИ ИЗ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Развитие производства легких бетонов на пористых заполнителях, которые первоначально предназначались для применения преимущественно в наружных ограждениях, обусловило использование этих бетонов и во внутренних конструкциях жилых зданий. При определенных сырьевой и индустриальной базах сборного домостроения комплексное применение легких бетонов для изготовления конструкций жилого дома экономически целесообразно. Однако использование этих бетонов во внутренних ограждениях сдерживалось требованиями к звукоизоляции.

Согласно методам расчета [37, 38, 50], для обеспечения требуемой звукоизоляции акустически однородная легкобетонная конструкция должна была иметь такую же поверхностную плотность, что и ограждение из тяжелого бетона. Это было связано со значительным увеличением толщины легкобетонных элементов по сравнению с толщиной конструкций из тяжелого бетона, и резким снижением их эффективности. Вместе с тем имелись данные, свидетельствовавшие о повышенных звукоизоляционных качествах легкобетонных ограждений [52].

При экспериментальном уточнении требуемых параметров легкобетонных конструкций в крупнопанельных домах и на испытательном стенде испытаны межквартирные стены и несущие элементы междуэтажных перекрытий в виде панелей сплошного сечения толщиной от 4 до 20 см из керамзитобетона плотностью от 1300 до 1800 кг/м³, в том числе на основе высокопрочного керамзита, изготовленного на трепельном сырье из перлитобетона плотностью 1350 кг/м³, пемзобетона — 1800 кг/м³, шлакопемзобетона — 1900 кг/м³. Поверхностная плотность испытанных конструкций составляла от 108 до 360 кг/м², индексы изоляции воздушного шума I_B — от 38 до 53 дБ.

Акустически однородные легкобетонные межквартирные стены испытаны в экспериментальных крупнопанельных домах с

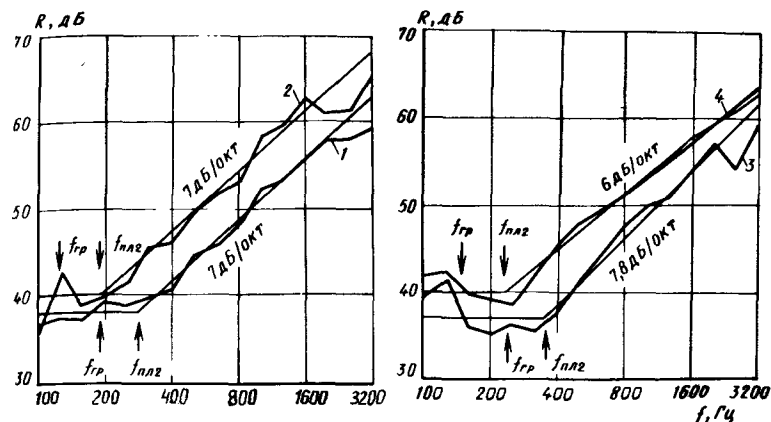


Рис.23. Измеренные и идеализированные частотные характеристики звукоизолирующей способности акустически однородных плит
1 — из тяжелого бетона $h = 10$ см; 2 — то же, $h = 16,1$ см; 3 — из перлитобетона $h = 10$ см; 4 — из керамзитобетона $h = 16$ см

комплексным применением легких бетонов в Новокуйбышевске, в домах, построенных по проектам серий 1–464 в Орле, 1–451 в Ереване.

Полученные экспериментальные данные позволили сравнить частотные характеристики звукоизолирующей способности акустически однородных конструкций из тяжелого и легкого бетонов. При сравнении использованы частотные характеристики конструкций из тяжелого бетона, полученные в крупнопанельных домах, на испытательном стенде ЦНИИЭП жилища, а также из литературных данных.

Для удобства сравнения фактические частотные характеристики заменены идеализированными (рис.23) в виде ломаной линии, состоящей из двух отрезков прямых — горизонтального (плато), начинающегося со 100 Гц, и наклонного, заканчивающегося на 5000 Гц. Идеализированные частотные характеристики построены по фактическим с помощью метода наименьших квадратов.

Положение идеализированной частотной характеристики в нормируемом диапазоне определяется четырьмя параметрами: граничной частотой $f_{гр}$, ординатой плато $R_{пл}$, протяженностью плато выше граничной частоты — $f_{пл2} / f_{гр}$ и уклоном наклонного участка i . Значения этих параметров, найденные для 22 конструкций сплошного сечения из тяжелого бетона и 14 — из легкого, приведены в табл. 2.

Два параметра, определяющие положение идеализированной частотной характеристики — $f_{пл2} / f_{гр}$ и i , не имеют выраженной зависимости от граничной частоты. Экспериментальная зависи-

Т а б л и ц а 2. Параметры частотных характеристик звукоизолирующей способности акустически однородных конструкций

Материал	h, см	q, кг/м ²	f _{гр} ¹	R _{дл} ¹ дБ	$\frac{I_{пл2}}{I_{гр}}$	i, дБ/окт	Место испытания ¹	Источник
Тяжелый бетон	1,5	33	1250	29	1,52	5,5	Испытательный стенд	[15]
	3	72	710	30,5	1,38	6,8	То же	[15]
	4	100	490	35,5	1,47	6	—	[50]
	5	125	390	35	1,32	5,3	—	[50]
	10	250	190	40	1,32	4,8	—	[50]
	10	244	190	38	1,17	6,5	Испытательный стенд	Данные автора
	10	240	190	38	1,48	7	То же	То же
	14,1	344	138	40	1,17	6,5	—	—
	14	336	140	37,5	1,29	6,2	Дом серии 1—464ПТ	—
	15,5	349	135	38,5	1,58	8	Дом серии 111—121	—
	16	384	125	39,5	1,58	6,7	Дом серии 1—464ПТ	—
	16	384	125	37,5	1,38	9	Дом серии 111—90	—
	16	384	125	37,5	1,12	7,2	Дом серии 111—83	—
	16,1	387	123	40	1,58	7	Дом серии 111—121	—
	17,8	440	110	40,5	1,45	6,7	—	[76]
	18	432	110	40,5	1,82	7	Дом серии 1—464ПТ	Данные автора
	18	432	110	38	1,29	7,5	Дом серии П—60	То же
	20	480	100	40	1,41	7	То же	—
	20	480	100	43,5	1,77	6,5	Дом серии 111—121	—
	20	480	100	41,5	1,58	6,2	—	[50]
	30	720	65	44,5	1,95	6,5	—	[50]
	40	960	50	45	1,58	6	—	[50]

Керамзитобетон	4	52	605	35	1,28	8,3	Испытательный стенд	[15]
	8	106	303	37,5	1,41	6,2	То же	[15]
	8	100	303	35	1,15	7	—	[50]
	10	160	236	36	1,26	9	Испытательный стенд	[15]
	12	150	202	36	1,41	6,2	—	[50]
	14	252	140	40	1,74	7,5	Дом серии 1—464	Данные автора
	16	256	148	41	1,58	6	Испытательный стенд	То же
	16	288	123	41	1,78	7	Дом серии 1—464	То же
	18	324	109	39	1,58	6,5	То же	—
	20	360	98	41	1,66	6	—	—
Перлитобетон	10	135	242	37	1,48	7,8	Испытательный стенд	[15]
Шлакобетон	14	250	140	38	1,2	4	—	[50]
	25	400	118	42,5	1,7	6,7	—	[50]
Пемзобетон	12	216	200	37,5	1,35	6,2	Дом серии 1—451	Данные автора

¹ Прочерки означают отсутствие данных о месте испытания соответствующих конструкций.

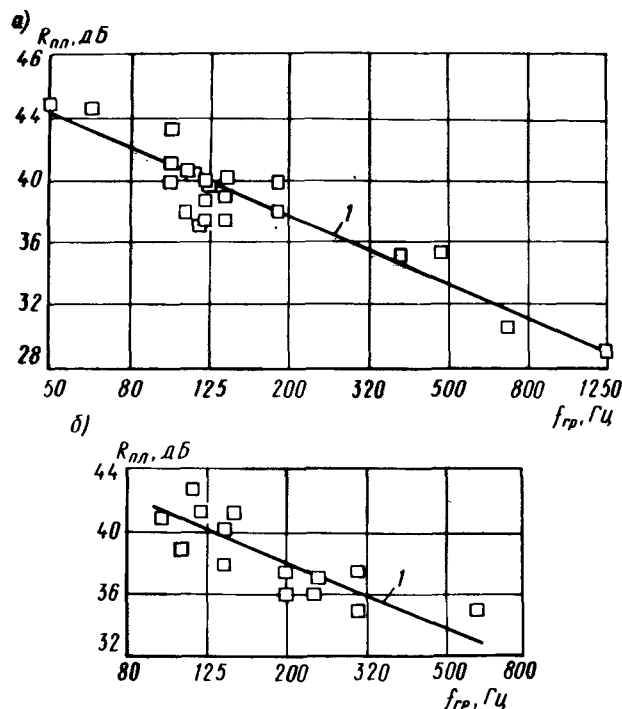


Рис.24. Экспериментальная зависимость ординаты плато $R_{пл}$ от граничной частоты $f_{гр}$ плит сплошного сечения
 а — из тяжелого бетона; б — из легкого бетона;
 1 — линия, аппроксимирующая экспериментальную зависимость

мость ординаты плато от граничной частоты для конструкций из тяжелого и легкого бетонов (рис.24) аппроксимирована одним выражением

$$R_{пл} = 63 - 11 \lg f_{гр}. \quad (78)$$

Средние значения двух других параметров идеализированной частотной характеристики звукоизолирующей способности конструкций из тяжелого и легкого бетонов также практически одинаковы. Для конструкций из тяжелого бетона $f_{пл} / f_{гр} = 1,44$, $i = 6,6$ дБ/окт; для конструкций из легкого бетона $f_{пл2} / f_{гр} = 1,45$, $i = 6,9$ дБ/окт.

Использование критерия Стьюдента показывает, что выборки экспериментальных данных, по которым определены средние

значения $f_{пл2} / f_{гр}$ и i для конструкций из тяжелого и легкого бетонов, принадлежат к одним и тем же генеральным совокупностям.

При статистическом анализе выявилось совпадение частотных характеристик звукоизолирующей способности ограждений из тяжелого и легкого бетонов, если они имеют одинаковые граничные частоты. Следовательно, у них равны и индексы изоляции воздушного шума.

Представляют интерес также зависимости величины $R_{пл}$ от поверхностной плотности конструкций из тяжелого и легкого бетонов. По данным, приведенным в табл.2, методом наименьших квадратов получены следующие выражения экспериментальных зависимостей: для конструкций из тяжелого бетона $R_{пл} = 12 + 10,7 \lg q$; для конструкций из легкого бетона $R_{пл} = 14,2 + 10,7 \lg q$. Средняя разница значений $R_{пл}$ для конструкций из тяжелого и легкого бетонов с одинаковой поверхностной плотностью составляет 2,2 дБ. Среднеквадратичное отклонение фактических значений $R_{пл}$ от значений, определяемых по указанным зависимостям, $s = 1,35$ дБ. При числе данных в выборках $n_1 = 22$ и $n_2 = 14$ критерий Стьюдента, вычисленный по формуле (77) $t = 4,76$. Доверительной вероятности 0,999 соответствует значение $t = 3,75$. Следовательно, с доверительной вероятностью, превышающей 0,999, можно утверждать, что рассмотренные звукоизоляционные характеристики конструкций из тяжелого и легкого бетонов с одинаковой поверхностной плотностью принадлежат к различным генеральным совокупностям.

Таким образом, звукоизолирующая способность конструкций из тяжелого и легкого бетонов одинакова, если равны их граничные частоты (а не поверхностные плотности). Это положение легло в основу практического метода расчета индекса изоляции воздушного шума легкобетонных конструкций с использованием эквивалентной поверхностной плотности [9, 19, 39, 49, 54].

Проведенное исследование параметров частотной характеристики изоляции воздушного шума акустически однородной конструкции послужило основой предложенного автором метода построения ее расчетной частотной характеристики (рис.25), которая состоит из одного горизонтального и одного наклонного участков. Уклон наклонного участка 6,6 дБ/окт. Координаты точки перелома определяют по формулам:

$$R_{пл} = 32,1 + 2,1 \lg q_3; \quad (79)$$

$$f_{пл2} = \frac{70500}{q_3}, \quad (80)$$

где q_3 — эквивалентная поверхностная плотность ограждения, кг/м².

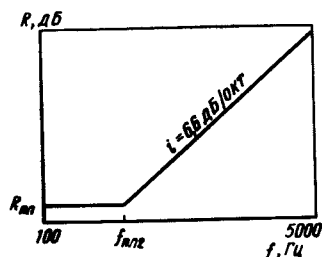


Рис. 25. Расчетная частотная характеристика изоляции воздушного шума акустически однородной конструкции

На рис.26 показаны измеренные и рассчитанные индексы изоляции воздушного шума легкобетонных конструкций. Расчетные индексы получены двумя методами: с использованием фактической поверхностной плотности ограждений методом [37, 50] и их эквивалентной поверхностной плотности. При определении эквивалентной поверхностной плотности по формуле (19) коэффициент k находили в зависимости от модуля упругости и плотности легкого бетона (см. рис.14). Использование эквивалентной поверхностной плотности конструкций значительно повысило точность определения расчетных индексов I_B .

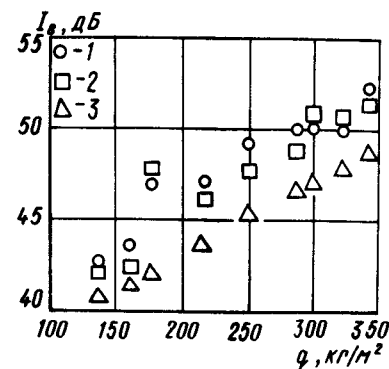
Исследования показали, что легкие бетоны на некоторых пористых заполнителях, главным образом на заполнителях, изготовленных из доменных шлаков, имеют повышенный по сравнению с другими бетонами коэффициент потерь. Влияние повышенного коэффициента потерь на звукоизолирующую способность можно проследить при сравнении двух конструкций одинаковой толщины из материалов с весьма близкими характеристиками.

Межквартирные стены толщиной 1В см были выполнены в доме серии 1—464 (в Орле) из бетона на высокопрочном трепельном керамзите, а в доме серии 111—91 (в Липецке) из шлакопемзобетона. У керамзитобетона $\rho_1 = 1800 \text{ кг/м}^3$, $E_1 = 1,85 \cdot 10^{10} \text{ Па}$; у шлакопемзобетона $\rho_2 = 1900 \text{ кг/м}^3$, $E_2 = 2 \cdot 10^{10} \text{ Па}$. Граничные частоты конструкций из керамзитобетона и шлакопемзобетона соответственно равны $f_{гр1} = 112$ и $f_{гр2} = 110 \text{ Гц}$. Расчетные индексы обеих конструкций одинаковы: $I_B = 50 \text{ дБ}$. Измеренные индексы составляют $I_{B1} = 50$ и $I_{B2} = 53 \text{ дБ}$. Таким образом, стена из шлакопемзобетона имеет на 3 дБ больший индекс I_B . Частотная характеристика шлакопемзобетонной стены расположена выше частотной характеристики керамзитобетонной стены в области граничной частоты и на более высоких частотах в среднем на 3 дБ (рис.27). Это соответствует теоретическим представлениям о влиянии коэффициента потерь на звукоизолирующую способность акустически однородных конструкций.

В результате экспериментального уточнения конструктивных параметров акустически однородных легкобетонных панелей

Рис. 26. Индексы изоляции воздушного шума легкобетонными конструкциями

1 — измеренные; 2 — рассчитанные по методу, описанному в п.6 с учетом эквивалентной поверхностной плотности; 3 — то же, по методу [37], [50] с учетом поверхностной плотности ограждения

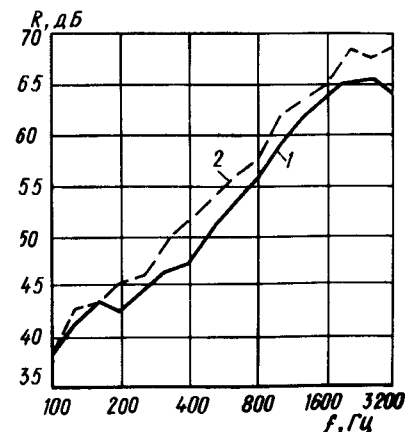


для внутренних стен было преодолено серьезное препятствие на пути их широкого применения в жилищном строительстве. Во многих случаях они стали конкурентоспособными с конструкциями из тяжелого бетона. Кроме того, были выявлены основные резервы повышения эффективности применения легких бетонов во внутренних ограждениях жилых зданий: использование бетонов с повышенным модулем упругости при заданной плотности и с повышенным коэффициентом потерь. Обе эти характеристики легкого бетона можно регулировать соответствующим подбором сырья и технологических параметров при изготовлении.

При применении легких бетонов взамен тяжелого в несущих плитах междуэтажных перекрытий их геометрические параметры обычно остаются без изменения. Это в большинстве случаев возможно при сохранении требуемых несущей способности

Рис. 27. Влияние на звукоизолирующую способность стены из шлакопемзобетона повышенного коэффициента потерь

1—стена толщиной 1Всм, из керамзитобетона; 2—то же, из шлакопемзобетона



и жесткости перекрытия, однако приводит к снижению звукоизолирующей способности его несущей части. В этих условиях целесообразно использовать полы на звукоизоляционной прослойке (раздельные), так как звукоизоляционный эффект от их применения возрастает при снижении звукоизолирующей способности несущей части.

Легкобетонные перекрытия с раздельным полом были уложены в опытном крупнопанельном доме с комплексным применением бетона на пористых заполнителях в Москве и в домах, построенных по проектам серии 1-464Д-97 в Новокуйбышевске. Перекрытия в опытном доме в Москве выполнены в виде комплексных панелей (изготовленных в одном производственном цикле), включающих несущую плиту толщиной 10 см из керамзитобетона плотностью 1350 кг/м^3 , сплошной звукоизоляционный слой, защищенный от увлажнения водонепроницаемой бумагой, и основание пола толщиной 6 см из керамзитобетона плотностью 1200 кг/м^3 . В качестве покрытия пола использованы линолеум на тканевой основе и релин. В одной группе перекрытий звукоизоляционная прослойка выполнена из стекловолоконистых плит плотностью 70 кг/м^3 толщиной в необжатом состоянии 6 см, в другой — из мягких древесноволокнистых плит плотностью 225 кг/м^3 , уложенных в три слоя общей толщиной 3,75 см. В табл.3 приведены средние индексы звукоизоляции, полученные в результате измерений до сдачи дома и после двух лет его эксплуатации и расчетом по методике, описанной в п.6. При расчете приняты: модуль упругости керамзитобетона $E = 1,15 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ и измеренные характеристики стекловолоконистых плит $E_d = 3,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и $\varepsilon_d = 0,8$.

Согласно статистическому анализу, отмеченное изменение (ухудшение) изоляции ударного шума после двух лет эксплуатации здания значимо. Ухудшение изоляции ударного шума на 3-3,5 дБ объясняется старением и повышением твердости покрытия пола (линолеума, релина), которое сначала несколько улуч-

Т а б л и ц а 3. Звукоизоляционные характеристики междуэтажных перекрытий из комплексных легкобетонных панелей, дБ

Звукоизоляционная прослойка	По измерениям				По расчету	
	до сдачи дома		через 2 года эксплуатации		I_v	I_y
	I_v	I_y	I_v	I_y		
Стекловолоконистые плиты	50	65,5	50,5	69	50	69
Мягкие древесноволокнистые плиты	51,5	63,5	51	66,5	51	67

шает изоляцию на высоких частотах, что не учитывается расчетом. Изменения изоляции воздушного шума незначимы, их можно отнести за счет разброса результатов измерений.

Отмечено хорошее совпадение результатов расчета и измерений, выполненных после двух лет эксплуатации здания. Таким образом метод расчета, изложенный в п.6, вполне применим для перекрытий малой поверхностной плотности, выполненных из легкого бетона.

В домах серии 1-464Д-97, возведенных в Новокуйбышевске, также применены комплексные панели перекрытий, изготовленные в одном производственном цикле заводом железобетонных изделий № 1 треста № 25 Главсредневожжскстроя. В отличие от описанных выше панелей, несущие плиты толщиной 10 см выполнены из керамзитобетона плотностью 1500 кг/м^3 , толщина керамзитобетонного основания пола 4 см. Общая поверхностная плотность комплексной панели около 220 кг/м^2 . Согласно расчету, для обеспечения требуемой звукоизоляции в таком легком перекрытии жесткость звукоизоляционной прослойки не должна превышать $2,4 \cdot 10^7 \text{ Па/м}$. Это означает, например, что толщина звукоизоляционного слоя из мягких древесноволокнистых плит должна быть не меньше 4 см, а минераловатных плит марки ПП-100 — не меньше 1,5 см (в обжатом состоянии).

При изготовлении комплексных панелей материал звукоизоляционной прослойки подвергается дополнительным силовым и температурно-влажностным воздействиям (при укладке и уплотнении бетона основания пола, термической обработке панели), что вызывает повышенное его деформирование. Фактическая толщина звукоизоляционного слоя в комплексных панелях до их монтажа при использовании стекловолоконистых матов на синтетическом связующем плотностью 40 кг/м^3 и толщиной 6 см составляла в среднем 1,2 см, а минимальная измеренная толщина 0,6 см. При использовании минераловатных плит на синтетическом связующем плотностью 75 кг/м^3 , толщиной 6 см аналогичные величины составляли соответственно 2,6 и 1,8 см [22].

Таким образом, еще до приложения эксплуатационной нагрузки рассматриваемые материалы оказались обжатыми в среднем соответственно на 77 и 57%. В результате обжатия звукоизоляционного слоя во время эксплуатации здания толщина минераловатных плит стала недопустимо малой, а в панелях со стекловолоконистыми матами появилась опасность образования непосредственного жесткого контакта основания пола с несущей частью перекрытия. Измерения после двух лет эксплуатации здания показали неудовлетворительную звукоизоляцию в случае применения перекрытий со звукоизоляционной прослойкой из слишком легкого сильно деформируемого материала. Так, при испытании перекрытий со звукоизоляционной прослойкой из минераловатных плит плотностью 75 кг/м^3 средние ин-

дексы звукоизоляции составляли, дБ: $I_B = 48,2$; $I_V = 71,6$, что хуже нормируемых для жилых зданий значений. Неудовлетворительная звукоизоляция отмечена также при использовании в качестве звукоизоляционной прослойки мягких древесноволокнистых плит недостаточной толщины (2,5 см). В этом случае средние значения индексов звукоизоляции составляют $I_B = 46,2$ и $I_V = 71,5$ дБ. Измеренные значения индексов звукоизоляции близко совпадают с расчетными значениями.

Проблема может быть решена при использовании мало деформируемых эффективных звукоизоляционных материалов (жестких минераловатных плит плотностью 150–175 кг/м³, пенополистирольных плит — 20–40 кг/м³) или комбинированном применении мягких и жестких звукоизоляционных материалов.

8. ОГРАЖДЕНИЯ ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ С ПУСТОТАМИ

Теоретический анализ показывает, что акустически однородные бетонные элементы с круглыми пустотами должны иметь более высокую звукоизолирующую способность, чем сплошные плиты, имеющие равную с первыми поверхностную плотность.

Повышенная жесткость пустотных плит при заданной поверхностной плотности обуславливает уменьшение граничной частоты конструкции и тем самым увеличение ее звукоизолирующей способности в области волнового совпадения и на более высоких частотах. Однако практические методы расчета [37, 38, 50] не позволяли учесть влияния на звукоизолирующую способность конструкции формы ее сечения.

Конструктивные параметры бетонных конструкций с круглыми пустотами уточняли по результатам экспериментов, проведенных на испытательном стенде ЦНИИЭП жилища и в жилых домах, построенных по проектам серий 4570/63 в Москве, 1–528КП, 1–528КП–40, 16–3А в Ленинграде и 4570–73/75 в пос. Ватутинки Московской обл. [1, 19, 42]. Одновременно изучали влияние на звукоизолирующую способность пустотных плит заполнения пустот сыпучими материалами (песком, керамзитом). По данным лабораторных испытаний двойных стен из гипсобетонных плит с круглыми пустотами, выполненных К.Гезеле и Р.Иеле [63], заполнение пустот песком позволило улучшить звукоизоляцию стен на 4,7 дБ. Это нельзя объяснить только увеличением поверхностной плотности ограждения — улучшение в значительной мере объясняется повышенным коэффициентом потерь песка по сравнению с бетоном.

В доме серии 4570/63 в Москве применены межквартирные стены из железобетонных панелей толщиной 19 см с круглыми пустотами диаметром 12,5 см, расположенными вертикально с шагом 15 см между их осями. Приведенная толщина бетона панели 11 см, поверхностная плотность 275 кг/м². У одной

группы панелей пустоты были заполнены керамзитом плотностью 450 кг/м³, у другой — кварцевым песком — 1500 кг/м³. При этом поверхностная плотность стен увеличилась соответственно до 311 и 395 кг/м².

В доме серии 4570–73/75 межквартирные стены имели аналогичную конструкцию, однако при сохранении тех же диаметра и шага пустот толщина панели была увеличена до 21 см. Приведенная толщина панели 13,5 см, поверхностная плотность 325 кг/м². У части панелей пустоты были на заводе заполнены керамзитом плотностью 400 кг/м³. Поверхностная плотность стен из этих панелей составила 375 кг/м². Панели выполнены из тяжелого бетона марки М 300, модуль упругости которого $E = 3,3 \cdot 10^{10}$ Па (по данным испытаний).

На испытательном стенде ЦНИИЭП жилища и в домах серий 1–528КП и 1–528КП–40 испытаны несущие части перекрытий из железобетонных многпустотных настилов толщиной 22 см с приведенной толщиной бетона соответственно 12 и 10,3 см. Сечение пустот плит, уложенных в домах, при изготовлении изделий было увеличено в результате приварки швеллера к нижней части трубы пустотообразователя. Поверхностная плотность несущих элементов перекрытия равна соответственно 300 и 255 кг/м². На испытательном стенде испытаны также плиты с заполненными песком пустотами.

Средние измеренные и рассчитанные индексы изоляции воздушного шума для элементов с круглыми незаполненными пустотами приведены в табл.4. Расчетные индексы определены по методу, описанному в п.6 для сплошных плит толщиной, равной приведенной толщине бетона рассматриваемых пустотных плит. В таблице указаны также значения превышения измеренных индексов звукоизоляции над расчетными ΔI_B .

Эксперимент подтвердил, что плиты с круглыми пустотами имеют повышенную звукоизолирующую способность по сравнению со сплошными плитами равной поверхностной плотности. Чтобы найти выражение для перехода от поверхностной плотнос-

Таблица 4. Характеристики ограждений из железобетонных элементов с круглыми пустотами

Место проведения испытания	h, см	h _{пр} , см	q, кг/м ²	I _B , дБ		ΔI_B , дБ
				измеренный	расчетный	
Дом серии: 4570/63	19	11	275	49	46	3
4570–73/75	21	13,5	337	51,4	42,2	3,2
1–528КП	22	10,3	255	50	45,2	4,8
Испытательный стенд	22	12	300	50,6	46,9	3,7

ти пустотного элемента к эквивалентной поверхностной плотности, сделаны три альтернативных предположения об условиях равенства звукоизолирующей способности плит пустотного и сплошного сечения: а) равенство граничных частот; б, в) равенство значений звукоизолирующей способности на частотах $f > 2 f_{гр}$, которые определяют по формулам соответственно (12) и (13). Каждое из этих предположений приводит к уравнению

$$k = \frac{q_a}{q} = \left(\frac{12 I}{b h_{np}^3} \right)^n, \quad (81)$$

где I — момент инерции сечения плиты с круглыми пустотами шириной b ;

h_{np} — приведенная толщина сечения этой плиты;

n — показатель степени, который принимает следующие значения: при выводе по формуле (12) $n = 1/6$, при выводе по формуле (13) $n = 1/10$, при предположении о равенстве граничных частот $n = 1/2$.

Выражение, стоящее в формуле (81) в скобках, есть отношение жесткостей пустотной и сплошной плит из одного материала с равной поверхностной плотностью — B_n / B_c .

При определении расчетного индекса I_B по формуле (16) увеличение индекса пустотной плиты, по сравнению с индексом сплошной, ΔI_B (для поверхностных плотностей больше 200 кг/м^2) равно

$$\Delta I_B = 23 \lg \frac{q_a}{q}, \quad (82)$$

где q_a — эквивалентная поверхностная плотность пустотной плиты;

q — поверхностная плотность плиты.

Подставляя значение q_a/q из формулы (81) в формулу (82), имеем

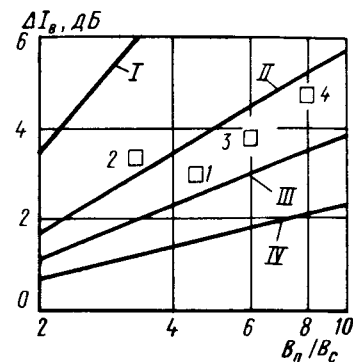
$$\Delta I_B = 23 n \lg \frac{B_n}{B_c}. \quad (83)$$

Экспериментальная зависимость повышения индекса звукоизоляции пустотных плит по сравнению с индексом звукоизоляции сплошных равной поверхностной плотности ΔI_B от отношения изгибных жесткостей этих плит B_n / B_c , показана на рис.28. На рисунке нанесены также линии, построенные по формуле (83) при значениях $n = 1/2$; $1/4$; $1/6$; $1/10$. Наилучшая аппроксимация

Рис. 28. Увеличение индекса изоляции воздушного шума пустотных плит по сравнению со сплошными равной поверхностной плотности

1 — стена с круглыми пустотами, $h = 19 \text{ см}$ в доме серии 4570/63; 2 — то же, $h = 21 \text{ см}$ в доме серии 4570—73/75; 3 — настил перекрытия с круглыми пустотами, $h = 22 \text{ см}$ на испытательном стенде; 4 — то же, в доме серии 1—528КП

I — $n = 1/2$; II — $1/4$; III — $1/6$; IV — $1/10$



экспериментальной зависимости достигается при $n = 1/4$. Поэтому для определения коэффициента k принято выражение (22):

$$k = 1,7 \sqrt[4]{\frac{1}{b h_{np}^3}}.$$

В табл.5 показаны средние значения (измеренные и расчетные) индекса I_B пустотных плит с заполненными сыпучим материалом пустотами. Расчетные значения I_B определены по графику (см. рис.13) для значений эквивалентной поверхностной плотности, при определении которых использована формула (22). Входящая в нее приведенная толщина вычислена по формуле (59).

Из данных табл.5 видно, что возросшее демпфирование конструкции, связанное с повышенным коэффициентом потерь

Т а б л и ц а 5. Характеристики ограждений из элементов с круглыми пустотами, заполненными сыпучим материалом

Место проведения испытания	Сыпучий материал	q , кг/м^2	I_B , дБ		ΔI_B , дБ
			измеренный	расчетный	
Дом серии: 4570/63	Керамзит	311	51	49,3	1,7
	Песок	395	52,5	50	2,5
4570—73/75	Керамзит	375	53	50,6	2,4
Испытательный стенд	Песок	410	55,3	51,1	4,2

Таблица 6. Изменение изоляции воздушного шума перекрытием из многопустотных настилов в результате устройства цементной стяжки

Толщина стяжки, см	I_B , дБ	ΔI_B , дБ
0	50,6	—
2,2	50,3	-0,3
2,6	51	0,4
4,4	51,4	0,8
6,8	54,7	4,1
8,3	55	4,4

сыпучего материала, привело к увеличению ее звукоизолирующей способности на 1,7—4,2 дБ. В расчете же рекомендуется учитывать улучшение индекса звукоизоляции, вызванное повышенным коэффициентом потерь сыпучего материала $\Delta I_B = 1,5$ дБ. Это объясняется сравнительно небольшим объемом экспериментальных данных и отмеченным снижением звукоизолирующей способности межквартирных стен в доме серии 4570/63 после года эксплуатации.

Одно из конструктивных решений перекрытий с несущей частью из пустотных плит — перекрытие с полом из линолеума на мягкой подоснове. В этом случае необходимо, как правило, устройство выравнивающей стяжки для компенсации неровностей верхней поверхности плит и перепадов в стыках.

Звукоизолирующая способность железобетонных пустотных плит с цементной стяжкой исследована на испытательном стенде ЦНИИЭП жилища [42]. На многопустотные настилы толщиной 22 см были уложены цементные стяжки толщиной от 2,2 до 8,3 см (табл.6).

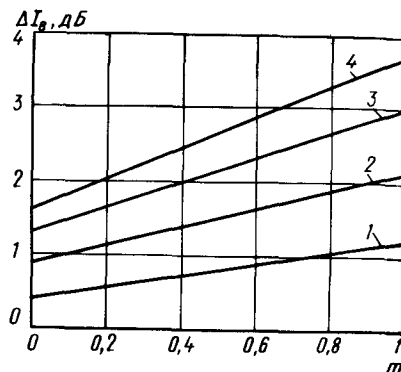
Выравнивающие стяжки небольшой толщины не увеличили звукоизолирующей способности ограждения.

При устройстве стяжки повышаются поверхностная плотность и жесткость конструкции. Однако увеличение жесткости в значительной мере зависит от сцепления стяжки с несущей частью пола и наличия или отсутствия в ней трещин, что обуславливает возможность совместной работы на изгиб стяжки и несущей части конструкции.

При поверхностной плотности перекрытия, большей 200 кг/м², изменение индекса изоляции воздушного шума ΔI_B в результате устройства стяжки можно вычислить по формуле

$$\Delta I_B = 23 \lg \sqrt{\frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{h_{np2}}{h_{np1}}} \cdot \frac{h_{np1} + h_{ст} \cdot \frac{\rho_{ст}}{\rho_1}}{h_{np2}}, \quad (84)$$

Рис.29. Изменение расчетного индекса звукоизоляции многопустотных настилов ΔI_B в результате устройства по ним стяжки в зависимости от коэффициента m , учитывающего их совместную работу



толщина стяжки h , см:
1—2; 2—4; 3—6; 4—8

где I_1 и I_2 — моменты инерции сечения конструкции до и после устройства стяжки;

h_{np1} и h_{np2} — приведенные толщины сечения до и после устройства стяжки;

$h_{ст}$ — толщина стяжки;

ρ_1 и ρ_2 — плотности материала плиты перекрытия и стяжки.

Момент инерции составного сечения может быть представлен в виде

$$I_2 = I_1 + I_{ст} + m(I_3 - I_1 - I_{ст}), \quad (85)$$

где I_1 , $I_{ст}$ и I_3 — моменты инерции соответственно несущей части перекрытия, стяжки и сечения в целом;

m — коэффициент, учитывающий совместную работу несущей части и стяжки, он может меняться от 0 до 1.

Изменение звукоизоляции плиты перекрытия ΔI_B толщиной 22 см в результате устройства стяжки, подсчитанное по формуле (84), зависит от коэффициента m (рис.29). При расчете плотности материала плиты и стяжки приняты одинаковыми. С изменением коэффициента m от 1 до 0 ΔI_B уменьшается на 1—2,5 дБ в зависимости от толщины стяжки.

Влияние на звукоизоляцию конструкции перекрытия совместной работы несущей части и стяжки дополнительно проверено в эксперименте, когда в одном случае стяжка уложена с применением специальных мер по улучшению ее сцепления с бетоном, а в другом — между несущей плитой и стяжкой проложен слой кальки. Результаты двух серий таких испытаний приведены в табл.7. В ней показаны также изменения изоляции воздушного и ударного шумов в результате прокладки кальки между несущей частью и стяжкой.

Таблица 7. Характеристики перекрытий с различным сцеплением между несущей частью и стяжкой, дБ

Толщина стяжки, см	I_v	I_y	I_v	I_y	ΔI_v	ΔI_y
	Без прокладки кальки	С прокладкой кальки	Без прокладки кальки	С прокладкой кальки		
5,2	53	—	51	—	-2	—
5,1	53	82	51	80	-2	-2

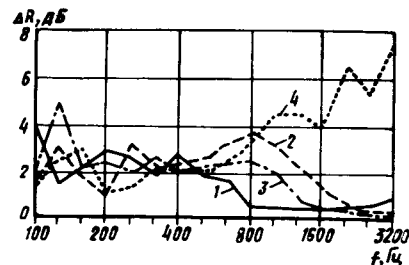
Проложенная между несущей плитой и стяжкой калька снизила изоляцию воздушного звука перекрытием на 2 дБ, что несколько превышает расчетную величину снижения ΔI_v при изменении коэффициента m от 1 до 0 при толщине стяжки 5 см (см. рис.29). О возможности самостоятельных колебаний стяжки, отделенной от несущей части перекрытия калькой, свидетельствует улучшение изоляции ударного шума. Взаимные перемещения стяжки и несущей плиты создают эффект "прослойки" между ними, однако с большой линейной жесткостью, с чем связано дополнительное снижение изоляции воздушного шума.

При устройстве цементных стяжек ($h_{ст} = 4$ см) по многопустотным настилам толщиной 22 см в домах, построенных по проектам серий 1-528КП, 1-528КП-40 и 16-3А в Ленинграде, индекс изоляции воздушного шума увеличился соответственно на 2; 2,1 и 3,7 дБ. Часть отмеченного в домах увеличения звукоизолирующей способности перекрытия вызвана тем, что стяжка перекрывает щели в стыках между настилами и в местах пропуска стояков. Дополнительное улучшение звукоизоляции в натуральных условиях наблюдается на частотах, близких к нижней резонансной частоте щели в ограждении толщиной 22 см — 800 Гц и на более высоких частотах (рис.30).

Экспериментальное уточнение конструктивных параметров однородных бетонных ограждений с круглыми пустотами доказало предсказываемые теорией преимущества таких конструкций перед сплошными, связанные с их повышенной жесткостью. Это позволяет при определенном уровне индустриальной базы домостроения снизить материалоемкость внутренних ограждающих конструкций жилых зданий при соблюдении требуемой звукоизоляции.

Сравнение измеренных и рассчитанных индексов I_v ограждений из железобетонных плит с круглыми пустотами показало, что использование результатов экспериментального исследования значительно повысило точность расчета звукоизолирующей способности ограждений из пустотных элементов (рис.31). Средние и среднеквадратичные отклонения расчетных индексов звуко-

Рис. 30. Изменение звукоизолирующей способности перекрытия из многопустотных настилов в результате устройства по ним стяжки
эксперименты проведены
1 — на акустическом стенде; 2 — в доме серии 1-528КП;
3 — то же, 1-528КП-40; 4 — то же, 16-3А



изоляции при расчете методом [37, 50] с использованием поверхностной плотности ограждений составляют соответственно 3,9 и 4,2 дБ. При расчете по методике, изложенной в п.6, эти значения соответственно равны 1 и 1,3 дБ.

Необходимо подчеркнуть, что расчет $I_{в0}$ по указанной методике применим только к тем пустотным элементам, которые являются акустически однородными во всем нормируемом диапазоне частот (см. п.2). Увеличение размеров пустот приводит к самостоятельным колебаниям образуемых ими тонких стенок.

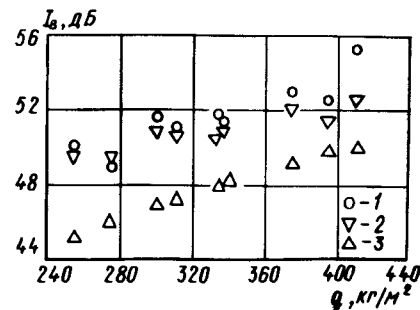
Влияние больших пустот на звукоизолирующую способность ограждения выявлено при испытании несущих элементов перекрытий из настилов с овальными пустотами в доме серии 1-528КП в Ленинграде и пустотной панели с дискретными связями между наружными слоями, разработанной В.Н.Шаишмелавили, на испытательном стенде.

Железобетонные плиты перекрытия высотой 22 см имеют овальные пустоты шириной 42,5 см. Приведенная толщина плит 9,2 см, поверхностная плотность 230 кг/м². Толщина стенок пустот около 3 см.

Вторая исследованная конструкция — железобетонная панель размером 6 x 3,2 x 0,26 м, состоящая из двух плит толщиной по 3 см, соединенных 20 железобетонными стойками-шпонками сечением 20 x 20 см, расположенными с шагом 1,5 м вдоль длин-

Рис.31. Индексы изоляции воздушного шума бетонными плитами с пустотами

1 — измеренные; 2 — рассчитанные по методу, описанному в п.6 с учетом эквивалентной поверхностной плотности; 3 — то же, по методу [37], [50] с учетом поверхностной плотности ограждения



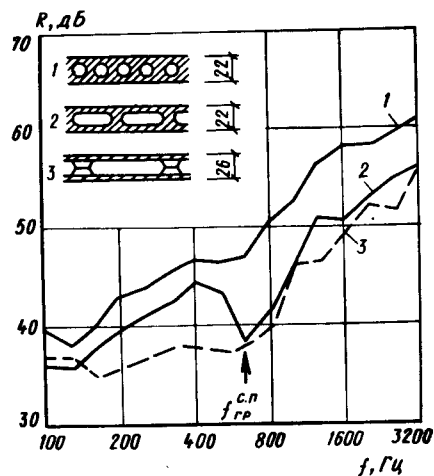


Рис.32. Звукоизолирующая способность перекрытий из пустотных железобетонных плит

1 — с круглыми пустотами; 2 — с овальными пустотами; 3 — с дискретными связями между наружными слоями

ных сторон и 0,85 и 1,2 м — вдоль коротких сторон панели. Таким образом, две плиты оказываются разделенными воздушной прослойкой. Контурные ребра верхней и нижней плит разделены прокладкой из мягкой древесноволокнистой плиты. Приведенная толщина панели 8,4 см, поверхностная плотность 210 кг/м².

Сравнение результатов испытаний описанных конструкций и железобетонных плит толщиной 22 см с круглыми пустотами показало их различную звукоизолирующую способность (рис.32). Звукоизолирующая способность плиты с овальными пустотами резко уменьшается в области граничной частоты стенок пустот толщиной 3 см ($f_{гр}^{с.п.} = 630$ Гц). Для панели с дискретными связями эта частота оказала решающее влияние на формирование звукоизолирующей способности ограждения во всем нормируемом диапазоне. Индексы звукоизоляции I_B сравниваемых конструкций с поверхностными плотностями 255, 230 и 210 кг/м² составляют соответственно 50,45 и 41 дБ. Для акустически однородных конструкций снижение поверхностной плотности от 255 до 230 и 210 кг/м² должно привести к уменьшению индекса I_B на 1 и 2 дБ. В рассматриваемом случае это уменьшение составило соответственно 5 и 9 дБ.

Отрицательное влияние больших пустот на звукоизоляцию в значительной мере устраняется при заполнении их сыпучим материалом (песком, керамзитом и т.п.). Испытанная на стенде ЦНИИЭП жилища керамзитобетонная панель толщиной 20 см имела овальные пустоты, заполненные песком: пакеты из полиамидной пленки с песком укладывали при бетонировании панели. В процессе бетонирования пакеты приняла в поперечном

сечении овальную форму с шириной 20 и высотой 10 см. Толщина горизонтальных стенок пустот в среднем около 5 см, вертикальных — 4 см. Объемная масса керамзитобетона 1650 кг/м³, поверхностная плотность панели 314 кг/м², приведенная толщина бетона 13,3 см. Измеренный индекс звукоизоляции $I_B = 51$ дБ совпадает с расчетным, определенным по методу, описанному в п.6.

9. ПЕРЕКРЫТИЯ С ПОКРЫТИЯМИ ПОЛА НА МЯГКОЙ ПОДОСНОВЕ

Укладка покрытий пола на мягкой подоснове непосредственно на несущую часть перекрытия позволяет значительно снизить затраты труда на устройство полов. Этим в первую очередь объясняется все большее распространение так называемых акустически однородных перекрытий в жилищном строительстве. Испытания перекрытий, состоящих из несущей железобетонной панели толщиной 14 см с полом из линолеума на войлочной подоснове, в крупнопанельных домах с малым шагом поперечных несущих стен (в Москве и Ленинграде, где было начато применение таких конструкций) показали неудовлетворительную изоляцию воздушного шума. В то же время имелись данные об удовлетворительной звукоизоляции помещений в случае применения межквартирных стен из железобетонных панелей толщиной 14 см (они соответствовали нормативным требованиям, действовавшим до 1971 г. — $I_B^н = 49$ дБ), поэтому потребовалось экспериментальное уточнение конструктивных параметров перекрытий с полом на мягкой подоснове, чтобы обеспечить выполнение нормативных требований по звукоизоляции.

Анализ экспериментальных данных о звукоизолирующей способности перекрытий из панелей толщиной 14 см с полом из линолеума на войлочной подоснове [14] выявил зависимость звукоизоляции этой конструкции от толщины внутренних несущих стен, на которые опирается панель перекрытия. Это указывает на заметное влияние косвенной передачи звука по стенам.

Важным параметром, определяющим интенсивность косвенной передачи звука по стенам, является коэффициент передачи вибрации в узле сопряжения перекрытия со стенами. В случае если элементы перекрытия и стены выполнены из одного материала, как в рассматриваемых крупнопанельных домах, то выражения коэффициентов передачи вибрации (45) и (46) упрощаются. Коэффициент передачи вибрации между элементами, сопрягаемыми в крестообразном узле под прямым углом, в этом случае находят из выражения

$$\tau_{1,2} = \frac{h_2 / h_1}{4(h_2 / h_1)^5 + 8(h_2 / h_1)^{2,5} + 5}, \quad (86)$$

а между элементами, расположенными по одной оси, — по формуле

$$\tau_{1,3} = \frac{1}{4(h_2/h_1)^5 + 8(h_2/h_1)^{2,5} + 5}, \quad (87)$$

где h_1 и h_2 — толщины первого и второго элементов, сопрягаемых под прямым углом (вибрация передается от первого элемента второму или третьему, который расположен по одной оси с первым).

В этом случае коэффициенты передачи вибрации зависят только от соотношения толщин сопрягаемых элементов стены и перекрытия.

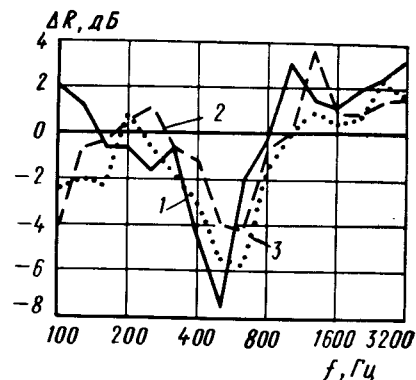
Другой важный параметр, обуславливающий снижение звукоизоляции в результате передачи звука по фланговым конструкциям [см. формулу (47) в п.3], — разность звукоизолирующих способностей основной и фланговой конструкций. Для акустически однородных ограждений (выполненных из одного материала) эта величина зависит в основном от соотношения их толщин. Таким образом, из формулы (47) видно, что снижение звукоизолирующей способности ΔR , вызванное косвенной передачей звука, может быть выражено в виде функции отношения толщин стыкуемых элементов и отношения площадей фланговых и основной конструкций.

Согласно формулам (86) и (87), коэффициенты передачи вибрации не зависят от частоты звука. Частотная зависимость разности звукоизолирующих способностей двух акустически однородных конструкций также выражена слабо. Следовательно, и величина ΔR мало зависит от частоты, ее можно приравнять к изменению индекса изоляции воздушного шума ΔI_v в результате косвенной передачи звука.

Изложенное является основанием для поиска экспериментальной зависимости величин ΔI_v , которые представляют собой разность между измеренными в натурных условиях индексами звукоизоляции перекрытий и подсчитанными по формуле (16), от отношения толщин элементов внутренней несущей стены и перекрытия h^c/h^n и отношения площадей несущих стен и перекрытия S^c/S^n . Экспериментальные данные для поиска такой зависимости пополнены в результате испытания специально изготовленных опытных перекрытий из железобетонных панелей толщиной 14, 16 и 18 см в доме серии 1-464-ЛТ в Вильносе [14], а также перекрытий из многоспустотных настилов толщиной 22 см с цементной стяжкой толщиной 4 см в домах серий 1-528КП, 1-528КП-40 и 16-3А в Ленинграде. Проведены также дополнительные измерения звукоизоляции перекрытий из панелей толщиной 14 см в домах серий 1-ЛГ-502 и 1-ЛГ-602

Рис.33. Изменение звукоизолирующей способности перекрытия в результате укладки линолеума на войлочной подоснове

1 — перекрытия из железобетонных сплошных панелей толщиной 14 см в доме серии 1-464-ЛТ; 2 — то же, толщиной от 16 до 20 см в доме серии 111-121; 3 — то же, из многоспустотных настилов толщиной 22 см со стяжкой толщиной 4 см, в доме серии 16-3А



в Ленинграде. Во всех случаях полы выполнены из линолеума на войлочной подоснове. Перекрытия опираются на несущие стены из железобетонных панелей толщиной 12, 14 и 18 см и из кирпичной кладки толщиной 38, 52 и 64 см.

Экспериментальная зависимость величины ΔI_v от h^c/h^n и S^c/S^n аппроксимирована выражением

$$\Delta I_v = -(2,6 + 0,74S^c/S^n) \left[1 - \frac{(h^c/h^n)^4}{0,17S^c/S^n - 0,07 + (h^c/h^n)^4} \right]. \quad (88)$$

Из этого выражения получены формулы (48) и (49) соответственно при значениях $S^c/S^n = 2,2$ и $S^c/S^n = 1,25$.

Увеличение толщины внутренних несущих стен при заданной толщине перекрытия приводит к уменьшению абсолютной величины ΔI_v , определяемой по формуле (88).

Поскольку использованные экспериментальные данные получены в результате натурных испытаний перекрытий с полом из линолеума на мягкой подоснове, выражение (88) учитывает влияние этого покрытия на звукоизолирующую способность перекрытия. Лабораторные [29], а затем и натурные [14] исследования показали, что при использовании линолеума на мягкой подоснове звукоизолирующая способность перекрытия снижается в области средних частот (рис.33). Это объясняется резонансом, происходящим на низшей собственной частоте двухслойного покрытия пола, которое в первом приближении может рассматриваться как система масса-пружина. Для достаточного улучшения изоляции ударного шума этим покрытием нужно использовать мягкую подоснову с малой линейной жесткостью.

В связи с малой поверхностной плотностью верхнего плотного слоя линолеума низшая собственная частота его находится в

Т а б л и ц а 8. Снижение изоляции воздушного шума перекрытием в результате укладки на него линолеума на войлочной подоснове

Конструкция несущей части перекрытия	Серия дома	ΔI_v , дБ
Железобетонная панель сплошного сечения толщиной		
14 см	1-464-ЛТ	-1
16 "		-1,7
18 "		-2,3
14 "	1-ЛГ-502	-1,9
Железобетонные настилы с круглыми пустотами толщиной 22 см, цементная стяжка — 4 см	1-528КП 1-528КП-40 16-3А	-1,2 -2,1 -1,6
Железобетонные настилы с овальными пустотами толщиной 22 см, цементная стяжка — 4 см	1-528КП	-2

диапазоне 400–800 Гц. Снижение звукоизолирующей способности в области этих частот заметно сказывается на значении индекса изоляции воздушного шума. Чтобы приблизить низшую собственную частоту покрытия к нижней границе нормируемого диапазона, нужно во много раз увеличить поверхностную плотность верхнего слоя и одновременно снизить жесткость мягкой подосновы. Это практически невыполнимо, так как при указанных условиях покрытие на мягкой подоснове превращается в раздельный или слоистый пол. Чтобы приблизить низшую собственную частоту покрытия к верхней границе нормируемого диапазона, нужно повысить линейную жесткость подосновы или уменьшить поверхностную плотность верхнего слоя. Увеличение линейной жесткости мягкой подосновы ограничено в связи с необходимостью обеспечить улучшение изоляции ударного шума, а снижение толщины верхнего слоя — из-за необходимости обеспечить определенную долговечность покрытия при истирании. Поэтому полностью устранить описанный эффект снижения звукоизолирующей способности не удастся при использовании разнообразных материалов подосновы.

Значение ΔI_v меняется в небольших пределах с изменением конструкции несущей части перекрытия (табл.8). По данным натурных измерений, снижение индекса изоляции воздушного шума в результате укладки пола из линолеума на мягкой подоснове составляет в среднем 1,5 дБ.

Для уточнения конструктивных параметров акустически однородных перекрытий, необходимых для удовлетворения нормативных требований по их звукоизоляции, и проверки практического метода расчета таких конструкций проведены

Т а б л и ц а 9. Характеристики конструкций опытного дома

Конструкция	Способ формирования	Толщина, см		Поверхностная плотность, кг/м ²	
		проектная	фактическая	проектная	фактическая
Перекрытие	В кассетах	16	16,1	400	362
	На поддонах	18	18,7	450	420
		20	20,6	500	462
Внутренняя стена	В кассетах	12	12,3	300	272
		16	15,5	400	349

натурные исследования звукоизоляции и коэффициентов передачи вибрации в экспериментальном крупнопанельном доме серии 111–121 в г. Жуковском [24, 28]. В нем выполнены акустически однородные перекрытия из железобетонных панелей сплошного сечения с проектной толщиной 16 см, которые изготавливали в вертикальных кассетах, а также с проектной толщиной 18 и 20 см, изготовленные в горизонтальных формах. Для полов использован линолеум на войлочной подоснове. В здании применены также типовые перекрытия с железобетонными панелями толщиной 10 см и деревянными полами.

В процессе строительства экспериментального дома контролировали правильность заделки стыков, монтажных отверстий, отверстий и полостей для электропроводки, а также правильность устройства всех остальных элементов перекрытий. Измеряли также фактическую толщину и массу сборных элементов исследуемых конструкций (табл.9), плотность и модуль упругости бетона.

После окончания монтажа сборных элементов экспериментального дома в нем были измерены коэффициенты передачи вибрации в стыках перекрытий и внутренних стен, а после окончания всех строительных работ — звукоизоляция экспериментальных перекрытий.

Для определения коэффициентов передачи вибрации через стыки дома одну из сопрягаемых конструкций приводили в колебательное движение с помощью вибровозбудителя ESE 211, на который подавались выделенные фильтром 1/3-октавные полосы "белого" шума. В пяти точках каждого из сопрягаемых элементов измеряли уровни вибрации в 1/3-октавных полосах частот.

Коэффициент передачи вибрации подсчитывали по формуле

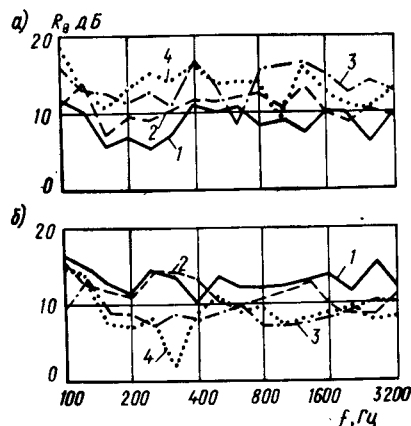


Рис.34. Виброизолирующая способность стыков при передаче вибрации
а — от стены толщиной 16 см перекрытию; б — от перекрытия стене толщиной 16 см; проектная толщина перекрытия: 1 — 10 см; 2 — 16 см; 3 — 18 см; 4 — 20 см

$$\tau = \frac{1}{10^{0,1 R_B}}, \quad (89)$$

где R_B — виброизолирующая способность стыка, равная разности средних уровней вибрации конструкции с источником возбуждения L_{B1} и конструкции, воспринимающей вибрацию через стык, L_{B2} .

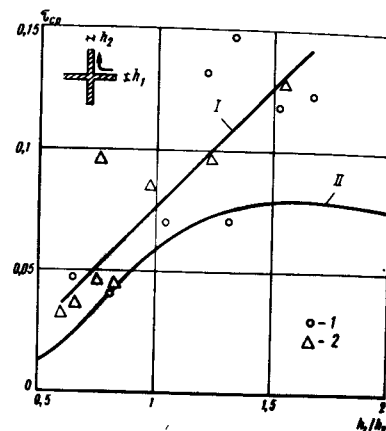
Виброизолирующая способность стыков не имеет выраженной частотной зависимости (рис.34). Каждая частотная характеристика виброизолирующей способности стыка может быть с достаточной точностью аппроксимирована горизонтальной прямой с ординатой, равной средней виброизолирующей способности R_B^{cp} , которую определяют как среднеарифметическое значение всех ординат частотной характеристики, поэтому средняя виброизолирующая способность R_B^{cp} и соответственно средний коэффициент передачи вибрации τ^{cp} хорошо отражают виброизолирующие качества стыка.

Панели перекрытия толщиной 10, 16, 18 и 20 см и стены — 12 и 16 см образовали в здании 8 типов крестообразных стыков. Коэффициенты передачи вибрации определены для 28 вариантов сопряжений, отличающихся направлением передачи вибрации, толщиной сопрягаемых и примыкающих элементов. Для каждого варианта испытано 4—12 однотипных узлов.

Результаты этих испытаний позволили определить экспериментальные зависимости коэффициентов передачи вибрации в стыках от параметров сопрягаемых элементов и сравнить их с зависимостями, полученными по формулам (86) и (87). На рис.35 показана экспериментальная зависимость коэффициента передачи вибрации в крестообразном узле между элементами, сопря-

Рис.35. Коэффициент передачи вибрации между элементами крестообразного узла, сопрягаемыми под прямым углом

1 — от перекрытия стене; 2 — от стены перекрытию; I — линия, построенная по формуле (90); II — то же, по формуле (86)



гаемыми под прямым углом (от перекрытия к стене, или наоборот), от отношения толщин этих элементов. Из графика видно, что с увеличением отношения h_1 / h_2 (h_1 — толщина элемента с источником вибрации) коэффициент передачи вибрации растет, т.е. виброизолирующая способность стыка уменьшается. В исследованном диапазоне изменения отношения h_1 / h_2 зависимость от него коэффициента τ может быть аппроксимирована формулой (уравнением прямой I на рис.35)

$$\tau_{1,2} = 0,1 (h_1 / h_2) - 0,023. \quad (90)$$

На рис.35 показана также зависимость между $\tau_{1,2}$ и h_1 / h_2 , полученная по формуле (86). Из графика видно, что характер расчетной кривой соответствует экспериментальной зависимости только при $h_1 / h_2 < 1$. При больших значениях h_1 / h_2 с увеличением этого отношения рост расчетного значения коэффициента $\tau_{1,2}$ постепенно замедляется, а затем оно начинает уменьшаться. Экспериментальные данные указывают на неизменный рост коэффициента $\tau_{1,2}$ в исследованном диапазоне значений h_1 / h_2 . Кроме того, расчет по формуле (86) дает в целом заниженные значения $\tau_{1,2}$, т.е. преувеличивает виброизолирующую способность стыков. Отмеченные расхождения расчетных результатов с экспериментальными данными связаны с различиями между условиями, принятыми в расчетной схеме, и реальными условиями в крупнопанельном доме.

На рис.36 показана зависимость коэффициента передачи вибрации в крестообразном узле между элементами, расположенными по одной оси (от стены к стене или от перекрытия к перекрытию), от отношения толщин h_1 / h_2 элементов, расположенных

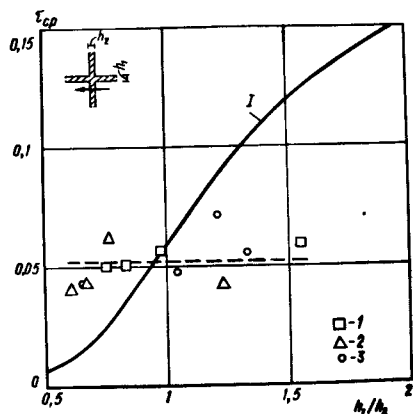


Рис.36. Коэффициент передачи вибрации между элементами крестообразного узла, расположенными по одной оси

1 — между элементами стен толщиной 16 см; 2 — то же, толщиной 12 см; 3 — между элементами перекрытий; 1 — линия, построенная по формуле (87)

под прямым углом (h_1 — толщина элемента с источником вибрации). Из графика видно, что коэффициент передачи вибрации практически не зависит от отношения h_1 / h_2 . Экспериментальная зависимость может быть аппроксимирована горизонтальной прямой, т.е. коэффициент передачи вибрации в исследованном диапазоне отношений h_1 / h_2 может быть принят постоянным: $\tau_{1,3} = 0,052$. Резкое отличие характера расчетной зависимости от экспериментальной связано с указанными выше причинами.

Знание фактических значений коэффициентов передачи вибрации позволяет сравнить поправки на косвенную передачу звука, найденные практическим методом расчета по формуле (48), с поправками, полученными точным методом [5] по формуле (47).

Формула (47) может быть упрощена в результате подстановки в нее ряда известных величин и учета условий в реальном здании. В связи с тем, что наружная стена значительно толще внутренних несущих стен, а площадь ее поверхности мала (учитывая световой проем), ее вклад в косвенную передачу звука пренебрежимо мал. Остаются три внутренние несущие стены из одного материала, которые приняты равной толщины. Поэтому их звукоизолирующие способности равны: $R_2 = R_3 = R_4$. Соответственно равны коэффициенты передачи вибрации: $\tau_{6,1} = \tau_{7,1} = \tau_{8,1}$ и $\tau_{1,2} = \tau_{1,3} = \tau_{1,4}$. На основании полученных экспериментальных данных коэффициенты $\tau_{6,2} = \tau_{7,3} = \tau_{8,4}$ приняты для всех случаев равными 0,052.

Для большинства жилых комнат в доме с малым шагом перемычек несущих стен $\frac{S_2 + S_3 + S_4}{S_1} = 2,2$. После учета приведенных соотношений формула (47) принимает вид:

$$\Delta R = -10 \lg [1 + 3 \cdot 10^{0,1(R_1 - R_2)} \tau_{2,1} + 2,2(\tau_{1,2} + 0,052 \cdot 10^{0,1(R_1 - R_2)})] \quad (91)$$

Значения $\tau_{2,1}$ и $\tau_{1,2}$ определены по экспериментальной зависимости (90).

Так как входящие в формулу (91) величины либо не зависят ($\tau_{2,1}, \tau_{1,2}$), либо мало зависят ($R_1 - R_2$) от частоты, изменение звукоизолирующей способности на значение ΔR вызывает смещение всей частотной характеристики звукоизоляции на это значение, поэтому можно считать изменение индекса звукоизоляции, вызванное косвенной передачей звука, $\Delta I_B = \Delta R$.

Чтобы сравнить два метода расчета, определены значения ΔI_B для пяти характерных сочетаний толщин перекрытий и стен, выполненных из железобетонных панелей. Основные характеристики рассматриваемых вариантов и расчетные значения ΔI_B приведены в табл.10.

Абсолютные значения поправок ΔI_{B1} , полученные точным методом расчета, в среднем на 0,7 дБ больше, чем значения поправок ΔI_{B2} , найденных практическим методом. Объясняется это следующим. Поправку ΔI_{B1} вносят к значению собственной звукоизолирующей способности конструкции, поправку ΔI_{B2} — к значению звукоизолирующей способности (к вычисленному по ней индексу звукоизоляции), которая определяется в условиях средней интенсивности косвенной передачи звука. Первое значение (звукоизолирующая способность, определенная в акустических камерах с малой интенсивностью косвенной передачи звука) для акустически однородных ограждений на 2 дБ превышает второе (см. п.3). Поэтому после внесения соответствующих поправок индекс звукоизоляции, вычисленный точным

Т а б л и ц а 10. Значения ΔI_B , рассчитанные по формулам (47) и (48)

Толщина панелей, мм	перекрытия h	стены h^c	$\frac{h^c}{h} = \frac{h_2}{h_1}$		$\tau_{1,2}$	$\tau_{2,1}$	ΔI_{B1}	ΔI_{B2}	$\Delta I_{B1} - \Delta I_{B2}$
							[по ф-ле (47)]	[по ф-ле (48)]	дБ
120	200	200	1,67	0,037	0,144	0,144	-0,7	-0,15	-0,55
140	180	180	1,29	0,055	0,099	0,099	-1,1	-0,3	-0,8
160	160	160	1	0,077	0,077	0,077	-1,7	-0,95	-0,75
180	140	140	0,78	0,099	0,055	0,055	-2,4	-1,9	-0,5
200	120	120	0,6	0,144	0,037	0,037	-3,7	-2,95	-0,75

методом, будет в среднем на 1,3 дБ превышать индекс, найденный практическим методом.

Поправка ΔI_{B2} , полученная практическим методом, кроме косвенной передачи звука, учитывает также ухудшение звукоизоляции, вызванное резонансными явлениями, возникающими при укладке линолеума на мягкой подоснове. Как показано выше, связанное с этим снижение индекса звукоизоляции составляет в среднем 1,5 дБ. Поправка ΔI_{B1} этого снижения не учитывает, чем объясняется разница в среднем на 1,3 дБ между индексами звукоизоляции, полученными точным и практическим методами. Таким образом, результаты, полученные тем и другим методами расчета, близки. Практический метод расчета, основанный на аппроксимации экспериментальных данных, согласуется с методом, основанным на теоретическом рассмотрении косвенной передачи звука.

Условия применения акустически однородных перекрытий в домах с большим шагом несущих стен отличаются от условий их применения в домах с малым шагом несущих стен. При большом планировочном шаге помещения ограничены не только несущими стенами, но и ненесущими перегородками. Передача вибрации по ним меньше из-за менее жесткой связи их с перекрытием.

В крупнопанельном жилом доме серии 1-467А в Люберцах (Московская обл.) измерены коэффициенты передачи вибрации в узлах перекрытий с ненесущими перегородками. Здание имеет поперечные несущие стены из железобетонных панелей толщиной 15 см, расположенные с шагом 3,2 и 6,4 м. При большом шаге несущих стен между ними располагается перегородка из гипсобетонной панели толщиной 8 см, которая разделяет два помещения. Междуетажные перекрытия выполнены из железобетонных многопустотных настилов толщиной 22 см.

Коэффициенты передачи вибрации измерены для двух вариантов заделки стыков между перекрытием и перегородкой: первый вариант — зазор в стыке заполнен паклей и зачеканен с двух сторон цементным раствором; второй вариант — цементный раствор отсутствует. Последний вариант имитирует случай, когда в растворе образовалась сквозная трещина. Измеренные значения виброизолирующей способности стыка R_B и коэффициента передачи вибрации τ (усредненные по частоте), а также расчетные коэффициенты передачи вибрации, подсчитанные по формуле (90) для случая стыка перекрытия с несущими стенами, приведены в табл.11.

Передача вибрации в узле сопряжения перекрытия с перегородкой заметно меньше, чем при прочих равных условиях, в узле соединения перекрытия с несущими стенами даже при плотном заполнении зазора в стыке раствором. После образования в стыке трещины, что неизбежно в результате взаимных перемещений перекрытия и перегородки в процессе эксплуатации,

Т а б л и ц а 11. Виброизолирующие качества стыков перегородок в доме серии 1-467А

Направление передачи вибрации	Экспериментальные при заполнении зазора				Расчетные	
	паклей и раствором		паклей		$R_{B'}$, дБ	τ
	R_B , дБ	τ	R_B , дБ	τ		
От перекрытия перегородке	9,9	0,102	24,4	0,0036	7,5	0,179
От перегородки перекрытию	25,3	0,0029	35,2	0,0003	25,2	0,003
От перегородки перегородке	30,9	0,0008	40,8	0,00008	12,8	0,052

коэффициенты передачи вибрации резко уменьшаются. При этом косвенная передача звука по перегородкам становится пренебрежимо малой.

Измеренные коэффициенты передачи вибрации в узлах сопряжения многопустотных настилов перекрытий с внутренними несущими стенами из железобетонных панелей толщиной 15 см с достаточным приближением соответствуют зависимости (90), если в качестве толщины перекрытия принята эквивалентная приведенная толщина настила

$$h_{пр.э} = h_{пр} k,$$

где k — коэффициент, учитывающий влияние жесткости на звукоизолирующую способность пустотного элемента, который определяют по формуле (22).

Результаты расчета изоляции воздушного шума акустически однородными перекрытиями из панелей сплошного сечения с полом из линолеума на мягкой подоснове по методике, описанной в п.6, достаточно близко совпадают с данными натурных измерений, проведенных после двух лет эксплуатации (табл.12).

Отмеченное в период эксплуатации в некоторых случаях улучшение изоляции воздушного шума объясняется обжатием мягкой подосновы линолеума и смещением его низшей собственной частоты в нормируемом диапазоне. Действующему нормативному требованию к изоляции воздушного шума ($I_B^H = 50$ дБ) отвечают только перекрытия из панелей толщиной 18,7, и 20,6 см в доме серии 111-121 при толщине внутренних несущих стен

Т а б л и ц а 12. Индексы изоляции воздушного шума акустически однородными перекрытиями в крупнопанельных домах с малым шагом несущих стен

Серия дома	h ^п , см	h ^с см	h ^с h ^п	I _в , дБ			расчет- ный
				до сдачи дома	после экс- плуатации в течение		
					1 года	2 лет	
1-464-ЛТ	14		0,86	46	46	47	47
	16	12	0,75	47	48	48	48
	18		0,67	48	49	49	49
111-121	16,1		0,87	48	48	48	49
	18,7	12; 16	0,75	52	50	51	50
	20,6		0,68	54	52	51	50

12 и 16 см. Среднеквадратичное отклонение расчетных индексов изоляции от измеренных после двух лет эксплуатации составляет 0,7 дБ.

При массовом применении акустически однородных перекрытий наблюдается некоторое снижение индексов изоляции воздушного шума по сравнению со значениями, приведенными в табл.12. Измерены средние индексы $I_v = 46$ дБ в домах серии 111-121 в Оренбурге (измерения НИИСФ) и серии 1-464ДТ в г. Тольятти, где применены перекрытия из железобетонных панелей толщиной 16 см с полом из линолеума на мягкой подоснове. Толщина внутренних несущих стен в указанных домах 12, 16 и 14 см соответственно. Причиной такого ухудшения может быть пониженное качество работ по устройству деталей перекрытий, в которых возможно образование сквозных щелей.

Обжатие мягкой подосновы покрытия пола при эксплуатации приводит к снижению изоляции ударного шума. В табл.13 приведены индексы приведенного уровня ударного шума акустически однородных перекрытий с полом из линолеума на войлочной подоснове.

Среднее снижение индекса изоляции ударного шума за 2 года эксплуатации составило 3,2 дБ. После двух лет эксплуатации нормативному требованию по изоляции ударного шума соответствуют только перекрытия из панелей толщиной 18 см в доме серии 1-464-ЛТ; 18,7 и 20,6 см — в доме серии 111-121. Объясняется это неудовлетворительным качеством примененного линолеума на войлочной подоснове, который не обеспечивает предусмотренного ГОСТ 18108-72 улучшения изоляции ударного шума.

Т а б л и ц а 13. Изменение при эксплуатации зданий изоляции ударного шума акустически однородными перекрытиями

Серия дома	Конструкция несущей части перекрытия	I _y , дБ			ΔI _y , дБ
		до сдачи дома	после эксплуата- ции в течение		
			1 года	2 лет	
1-464-ЛТ	Панель сплошного сечения толщиной				
	14 см	69	71	70	1
	16 "	68	71	70	2
	18 "	65	68	67	3
1-ЛГ-502,	14 "	67	69	70	3
111-121	16,1"	65	69	70	5
	18,7 "	62	65	67	5
	20,6 "	62	65	65	3
1-528КП-40	Многopустотный настил толщиной 22 см, цементная стяжка — 4 см	65	67	69	4
16-3А	То же	66	70	69	3

10. ПЕРЕКРЫТИЯ С РАЗДЕЛЬНЫМИ И СЛОИСТЫМИ ПОЛАМИ НА ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННОЙ ПРОСЛОЙКЕ

Перекрытия с полами на звукоизоляционной прослойке (с так называемыми плавающими или отдельными полами) — традиционное и наиболее широко используемое в жилищном строительстве конструктивное решение. Вместе с тем применение новых облегченных конструкций несущих элементов перекрытия, в том числе из легких бетонов, промышленных конструкций полов, новых видов материалов звукоизоляционных прослоек вызвало необходимость экспериментального уточнения конструктивных параметров таких перекрытий для обеспечения требуемой нормами изоляции воздушного и ударного шума в зданиях. С этой целью было испытано 38 вариантов перекрытий без пола и с полом на испытательном стенде и в зданиях [19]. При этом изменялись конструкция несущей части (табл.14), пола (табл.15), материал и характеристики звукоизоляционной прослойки, толщина промежутка между полом и несущей частью.

В звукоизоляционных прослойках использованы минераловат-

Т а б л и ц а 14. Характеристики несущих элементов испытанных перекрытий

Конструкция и материал несущей части	h, см	h _{пр} , см	ρ, кг/м ³	q, кг/м ²	l _в , дБ	l _у , дБ
Рёбристая панель ребрами вверх из тяжелого мелкозернистого бетона	8,5	4	2200	88	31	102
Складчатая армоцементная панель	24	4	2200	88	32	103
Рёбристая панель ребрами вверх из тяжелого бетона: мелкозернистого обычного	11,5 20	5,1 4	2200 2400	112 168	33 36	93 89
Сплошная панель из керамзитобетона	8	8	1300	106	39	90
Шатровая панель из тяжелого бетона	20	7,3	2400	176	40	89
Сплошная панель из: перлитобетона	10	10	1350	135	42	92
керамзитобетона	10	10	1600	160	43	90
тяжелого бетона	10	10	2400	240	45	86
Многopустотный настил из тяжелого бетона	22	12	2400	288	50	86
То же, с цементной стяжкой толщиной 5 см	27	17	$\frac{1900}{2400}$	383	52	83

ные плиты и маты, стекловолокнистые, мягкие древесноволокнистые, пенополистирольные плиты, засыпки из кварцевого, керамзитового и перлитового песков. Минераловатные, стекловолокнистые и древесноволокнистые плиты укладывали сплошным слоем и в виде полосовых прокладок, а засыпки использовали также в комбинации с полосовыми прокладками из древесноволокнистых плит, уложенными под лагами деревянного пола. Средняя толщина промежутка между полом и несущей частью менялась от 2,5 до 17 см. В результате устройства пола поверхностная плотность перекрытия увеличивалась в 1,05—1,89 раза. Низшая собственная частота пола, подсчитанная по формуле (27), составляла 69—360 Гц.

Испытаниями установлены экспериментальные значения происшедших в результате устройства пола изменений: звукоизолирующей способности перекрытий

$$\Delta R = R - R^{H.4};$$

Т а б л и ц а 15. Характеристики полов испытанных перекрытий

Конструкция пола	Конструктивная высота, см	Поверхностная плотность, кг/м ²
Шпунтованные доски (2,2 -3,7 см) по лагам (сечением от 2,5 × 10 до 4 × 10 см)	5,4—7,9	20—28
Штучный паркет (1,6 см) по доскам (2,9 см) и лагам (4 × 10 см)	9,5	32
Линолеум по полутвердой древесноволокнистой плите (0,8 см) и цементной стяжке (3—4 см)	4 - 5	85—85
Линолеум по перлитобетонной панели основания пола (3 см)	3,5	41
Линолеум по керамзитобетонной панели основания пола (4 см)	4,5	53
Линолеум по полутвердой древесноволокнистой плите (0,8 см) и армоцементной панели основания пола (2,5 см)	3,8	60
Линолеум по рёбристой панели с ребрами вниз (12,5 см) из керамзитобетона	13	72
То же, 8,5 см	9	61

индекса изоляции воздушного шума

$$\Delta l_v = l_v - l_v^{H.4};$$

приведенного уровня ударного шума

$$\Delta L_n = L_n^{H.4} - L_n;$$

индекса приведенного уровня ударного шума

$$\Delta l_y = l_y^{H.4} - l_y.$$

Анализ экспериментальных данных позволил определить зависимость изменения звукоизолирующей способности перекрытия ΔR в результате устройства пола от звукоизолирующей способности несущей части перекрытия (от индекса $l_v^{H.4}$). Частотные характеристики ΔR , полученные в случае, когда несущая часть перекрытия выполнена из армоцементной складчатой

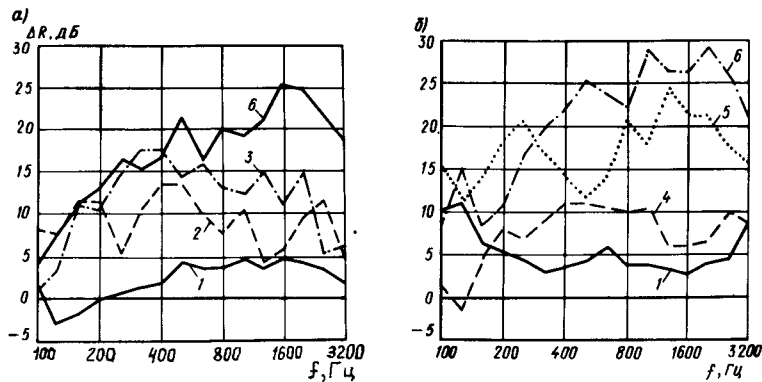


Рис.37. Изменение звукоизолирующей способности перекрытия в результате устройства деревянного пола на лагах (а) или пола по бетонному основанию (б) на звукоизоляционной прослойке из минераловатных или стекловолоконных плит

1 — по многопустотным железобетонным настилам ($I_B^{H,Ч} = 50$ дБ); 2 — по сплошной керамзитобетонной плите ($I_B^{H,Ч} = 43$ дБ); 3 — то же ($I_B^{H,Ч} = 39$ дБ); 4 — по сплошной перлитобетонной плите ($I_B^{H,Ч} = 42$ дБ); 5 — по ребристой железобетонной плите ($I_B^{H,Ч} = 36$ дБ); 6 — по складчатой армоцементной панели ($I_B^{H,Ч} = 32$ дБ)

панели с малым индексом изоляции от воздушного шума $I_B^{H,Ч} = 32$ дБ, имеют общий уклон на частотах до 1000–1600 Гц около 6 дБ/окт (рис.37). Выше этих частот рост ΔR сначала прекращается, а затем ΔR начинает уменьшаться. Эти кривые сходны с кривыми, полученными при испытании двойных стен без жесткой связи между элементами (см. рис.6). С увеличением индекса $I_B^{H,Ч}$ увеличение ΔR прекращается на более низких частотах. При больших значениях $I_B^{H,Ч}$ ΔR не имеет выраженной частотной зависимости. Частотные характеристики ΔR в этих случаях могут быть с определенным приближением аппроксимированы горизонтальными прямыми. Рост $I_B^{H,Ч}$ вызывает снижение усредненного по частоте значения ΔR . Отмеченный характер изменения частотных характеристик ΔR при увеличении $I_B^{H,Ч}$ можно объяснить следующим.

Если предположить, что перекрытие не пропускает звука, то звукоизоляция разделенных им помещений будет определяться прохождением звука по стенам. Этому случаю соответствует наибольшая звукоизоляция помещения, которая может быть достигнута при заданной конструкции стен. Если все стены одинаковы, то наибольшая звукоизоляция может быть выражена как

$$R_{\max} = R^c + 10 \lg \frac{1}{\tau} + 10 \lg \frac{S^n}{S^c}, \quad (92)$$

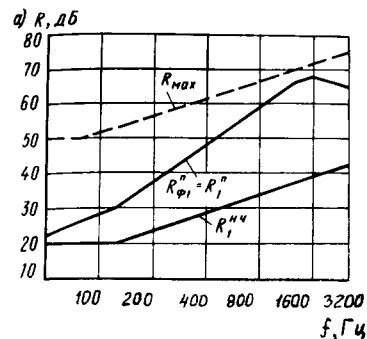
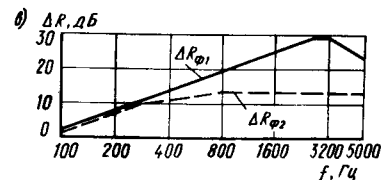
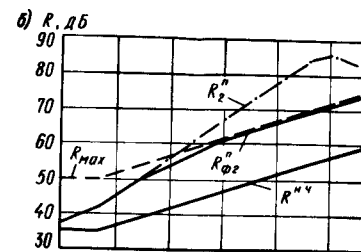


Рис.38. Идеализированные частотные характеристики а — звукоизолирующей способности перекрытия с малым $I_B^{H,Ч}$; б — то же, с высоким $I_B^{H,Ч}$; в — изменения звукоизолирующей способности в результате устройства пола



где R^c — звукоизолирующая способность стены;

τ — коэффициент передачи вибрации в сопряжении стен и перекрытия;

S^n и S^c — площади соответственно перекрытия и стен в изолируемом помещении.

Если на какой-либо частоте звукоизолирующая способность перекрытия R^n превышает $R_{\max}$, то фактическая (измеренная) звукоизолирующая способность на этой частоте R_{ϕ}^n будет равна или меньше $R_{\max}$. Снижение R_{ϕ}^n по сравнению с $R_{\max}$ связано с влиянием звуковой энергии, проходящей через перекрытие, если разница между R^n и $R_{\max}$ не больше 10 дБ. На рис.38 показаны идеализированные частотные характеристики звукоизолирующей способности двух перекрытий R_1^n и R_2^n и их несущих частей $R_1^{H,Ч}$ и $R_2^{H,Ч}$. Условно принято, что при отсутствии косвенной передачи звука по стенам улучшение, достигаемое при устройстве пола, для обоих перекрытий одинаково: $\Delta R_1 = \Delta R_2$. При весьма низкой звукоизолирующей способности несущей части $R_1^{H,Ч}$ во всем частотном диапазоне $R_1^n < R_{\max}$, поэтому фактические значения $R_{\phi 1}^n$ и $\Delta R_{\phi 1}$, полученные при наличии косвенной передачи звука по стенам, равны значениям, измеренным при ее отсутствии (R_1^n и ΔR_1). При большой звукоизолирующей способности несущей части $R_1^{H,Ч}$ передача звука по стенам приводит к снижению величин $R_{\phi 2}^n$ и $\Delta R_{\phi 2}$ по сравнению с R_2^n и ΔR_2 в первую очередь на высоких частотах. По мере сближения кривых $R_1^{H,Ч}$ и $R_{\max}$ снижается частота, начиная с которой на ΔR сказывается передача звука по стенам. Поскольку темп роста

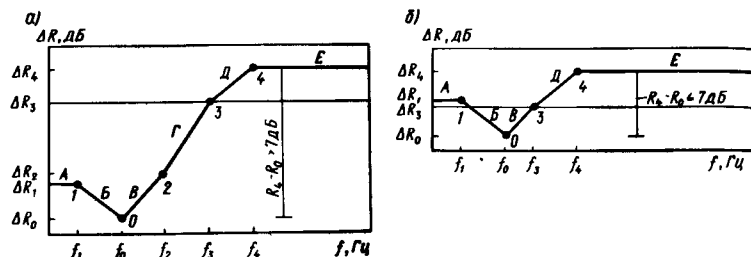


Рис.39. Расчетная частотная характеристика изменения звукоизолирующей способности перекрытия в результате устройства пола
а - $R_4 - R_0 > 7$ дБ; б - $R_4 - R_0 \leq 7$ дБ

$R_{\max}$ и $R^{H,4}$ с увеличением частоты примерно одинаков, частотная характеристика ΔR в зоне влияния передачи звука по стенам имеет вид горизонтальной прямой. Таким образом, отмеченное изменение измеренных частотных характеристик ΔR (см. рис.37) при увеличении звукоизолирующей способности несущей части перекрытия объясняется в первую очередь влиянием косвенной передачи звука.

На изложенной теоретической модели формирования звукоизолирующей способности перекрытия и анализе экспериментальных данных основана предложенная автором методика построения расчетной частотной характеристики изменения звукоизолирующей способности перекрытия ΔR в результате устройства пола (рис.39). Наименьшее значение ΔR соответствует нижней собственной частоте пола f_0 , подсчитываемой по формуле (27). Ординату точки 0 - ΔR_0 определяют по формуле

$$\Delta R_0 = -\frac{I_B^K - I_B^{H,4} + 2}{0,5 I_B^K - 15} \Delta_{B3} - 3, \quad (93)$$

где $I_B^{H,4}$ - индекс изоляции воздушного шума несущей частью перекрытия;

I_B^K - индекс изоляции воздушного шума при условии передачи звука только косвенным путем по стенам, который определяют по формуле (30);

Δ_{B3} - величина, учитывающая звукоизоляционные качества пола:

$$\Delta_{B3} = 5 \lg \left(-\frac{q_{\text{попн}}}{q_1} - \frac{h_{c,n}}{2} \right) + \Delta_{B2} \quad (94)$$

[обозначения здесь те же, что в формуле (32)].

Наибольшее значение ΔR соответствует области, в которой звукоизоляция помещений определяется прохождением звука по стенам. Его подсчитывают по формуле

$$\Delta R_4 = I_B^K - I_B^{H,4} - 4 + \frac{I_B^K - I_B^{H,4} + 2}{0,5 I_B^K - 15} \Delta_{B3}. \quad (95)$$

В зависимости от разницы между ΔR_4 и ΔR_0 возможны два варианта построения расчетной частотной характеристики ΔR .

Если $\Delta R_4 - \Delta R_0 > 7$ дБ, график строят в такой последовательности (рис.39,а). Наносят точки 1 и 2 с координатами соответственно $f_1 = 0,5 f_0$, $\Delta R_1 = \Delta R_0 + 3$ и $f_2 = 2f_0$, $\Delta R_2 = \Delta R_0 + 4$. Из точки 2 проводят прямую Γ с уклоном 6 дБ/окт до пересечения с горизонтальной прямой, имеющей ординату $\Delta R_3 = \Delta R_4 - 3$. На пересечении находят точку 3 с абсциссой f_3 . Абсцисса точки 4 - $f_4 = 2f_3$.

Если $\Delta R - \Delta R_0 \leq 7$ дБ, точку 1 находят так же, а из точки 0 проводят прямую B с уклоном 4 дБ/окт до пересечения с горизонтальной прямой, имеющей ординату $\Delta R_3 = \Delta R_4 - 3$. На пересечении находят точку 3 (см. рис.39,б). Дальнейшее построение аналогично предыдущему.

Частотную характеристику звукоизолирующей способности перекрытия с полом получают, суммируя частотные характеристики звукоизолирующей несущей части (см.п.7) и изменения звукоизолирующей способности в результате устройства пола.

На основе изложенной методики рассчитаны значения изменения индекса изоляции воздушного шума ΔI_B в результате устройства пола для большого набора значений влияющих параметров: индексов I_B^K и $I_B^{H,4}$, нижней собственной частоты f_0 , величины Δ_{B3} . В качестве примера на рис.40 приведены значения ΔI_B , рассчитанные при $I_B^K = 58, 62$ и 66 дБ, $I_B^{H,4} = 42, 46$ и 50 дБ, $f_0 = 50, 100, 200$ и 400 Гц и $\Delta_{B3} = 0$. В результате анализа совокупности расчетных значений ΔI_B , зависимость этой величины от влияющих параметров аппроксимирована формулой (29)

$$\Delta I_B = \frac{\Delta_B (I_B^K - I_B^{H,4} + 2)}{0,5 I_B^K - 15} - 3.$$

Зависимость экспериментальных значений ΔI_B , измеренных при 38 вариантах перекрытий, от индекса изоляции воздушного шума несущей частью $I_B^{H,4}$ (рис.41) хорошо согласуется с описанной расчетно-теоретической зависимостью. На графике четко выражено уменьшение ΔI_B с увеличением $I_B^{H,4}$. Вместе с тем при заданной звукоизолирующей способности несущей части значение ΔI_B в зависимости от вида раздельного пола меняет-

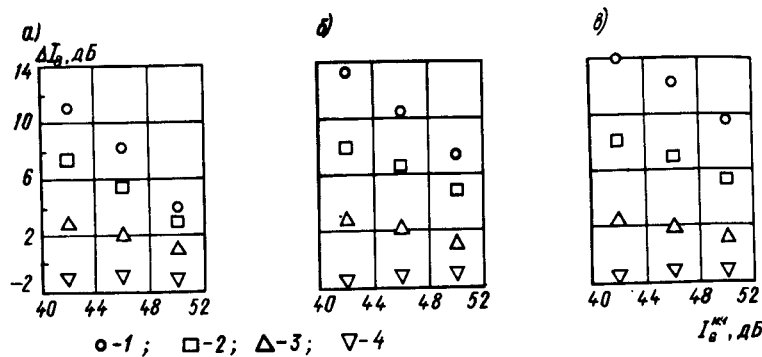


Рис. 40. Расчетные значения изменения индекса изоляции воздушного шума перекрытием $\Delta I_{\text{в}}$ в результате устройства пола при значениях $I_{\text{в.н.ч}}^{\text{К}}$, дБ:
 а — 58; б — 62; в — 66
 1 — $f_0 = 50$ Гц; 2 — $f_0 = 100$ Гц; 3 — $f_0 = 200$ Гц; 4 — $f_0 = 400$ Гц

ся в довольно широких пределах (до 8 дБ). Это объясняется влиянием ряда параметров пола (его поверхностной плотности, линейной жесткости звукоизоляционной прослойки, толщины воздушного промежутка и др.).

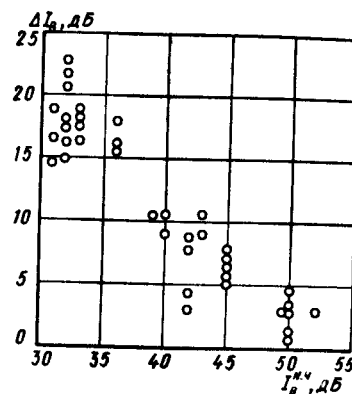
Значения $\Delta I_{\text{в}}$, соответствующие одинаковым конструкциям пола, располагаются на графике вдоль прямых линий, которые пересекаются в узком фокусе. Экспериментальная зависимость $\Delta I_{\text{в}} - I_{\text{в.н.ч}}^{\text{К}}$ аппроксимирована уравнением семейства прямых, пересекающихся в одной точке:

$$\Delta I_{\text{в}} = \frac{\Delta_{\text{в}} (60 - I_{\text{в.н.ч}}^{\text{К}})}{14} - 3. \quad (96)$$

Равенство (96) — частный случай формулы (29), получаемый при $I_{\text{в.н.ч}}^{\text{К}} = 58$ дБ. В нем $\Delta_{\text{в}}$ — величина, зависящая от параметров пола. Экспериментальные значения $\Delta_{\text{в}}$, полученные для одинаковых полов, устраиваемых на разных несущих элементах, близки.

Важнейшим параметром, определяющим звукоизоляционный эффект, получаемый при устройстве пола, является низшая собственная частота пола f_0 , которая подсчитывается по формуле (27). Она уменьшается при увеличении поверхностной плотности пола и снижении линейной жесткости звукоизоляционной прослойки. От того положения, которое занимает частота f_0 в нормируемом частотном диапазоне, зависит расположение области, где происходит повышение звукоизолирующей способности перекрытия в результате устройства пола. Однако изменение низшей собственной частоты пола не может объяснить всех

Рис. 41. Изменение индекса изоляции воздушного шума $\Delta I_{\text{в}}$ перекрытием в результате устройства пола в зависимости от индекса изоляции воздушного шума несущей частью перекрытия $I_{\text{в.н.ч}}^{\text{К}}$ (результаты измерений)



изменений величины $\Delta_{\text{в}}$. При одинаковых значениях f_0 $\Delta_{\text{в}}$ тем больше, чем больше относительное увеличение поверхностной плотности перекрытия, связанное с устройством пола, чем больше средняя толщина промежутка между полом и несущей частью $h_{\text{с.п}}$ и чем выше потери звуковой энергии в звукоизоляционной прослойке. Первый из указанных параметров характеризуется отношением $q_{\text{полн}} / q_1$ (где $q_{\text{полн}}$ — полная поверхностная плотность перекрытия; q_1 — поверхностная плотность несущей части).

Потери звуковой энергии в звукоизоляционной прослойке тем значительнее, чем больше ее поверхностная плотность и чем выше коэффициент потерь звукоизоляционного материала. Высокий коэффициент потерь пористоволокнистых (минераловатных, стекловолоконных и т.п.) материалов не вызывает заметного увеличения демпфирования перекрытия из-за весьма малой поверхностной плотности прослойки из этих материалов. С другой стороны, звукоизоляционные прослойки из сыпучих материалов (песка, шлака, керамзита и т.д.) заметно увеличивают демпфирование перекрытия, так как они имеют сравнительно высокий коэффициент потерь ($\eta \approx 0,1$) при большой поверхностной плотности.

Анализ экспериментальной зависимости величины $\Delta_{\text{в}}$, которая является мерой звукоизоляционной эффективности пола, от указанных четырех параметров позволил составить следующее выражение связи между ними:

$$\Delta_{\text{в}} = 10 \lg \left(\frac{650}{f_0} \sqrt{\frac{q_{\text{полн}}}{q_1} \frac{h_{\text{с.п}}}{2}} \right) + \Delta_{\text{в2}}, \quad (97)$$

где $\Delta_{\text{в2}}$ — величина, учитывающая потери звуковой энергии в материале звукоизоляционной прослойки [для сыпу-

чих материалов (песка, шлака и т.д.) $\Delta_{B2} = 1,5$, для остальных материалов $\Delta_{B2} = 0$.

Среднеквадратичное отклонение вычисленных по формулам (96) и (97) значений ΔI_B от экспериментальных равно 0,7 дБ.

Индексы изоляции ударного шума несущими частями испытанных перекрытий изменялись от 103 до 83 дБ. Это позволило выявить влияние $I_V^{H,4}$ на полученную в результате устройства заданного вида пола величину ΔI_V . Другими параметрами, оказывающими влияние на ΔI_V , являются: низшая собственная частота пола f_0 , определяемая по формуле (27), средняя толщина промежутка между полом и несущей частью перекрытия $h_{c,n}$, вид звукоизоляционной прослойки в зависимости от ее влияния на демпфирование перекрытия, материал покрытия и конструкции пола. Если три первых параметра $I_V^{H,4}$, f_0 и $h_{c,n}$ могут быть выражены числами, то числовое выражение двух других параметров затруднено. Поэтому звукоизоляционные прослойки подразделены на две группы. К первой отнесены прослойки из пористоволокнистых и пористогубчатых материалов (из-за малой поверхностной плотности их влияние на демпфирование перекрытия незначительно); ко второй — засыпки из сыпучих материалов (песка, шлака и т.д.), оказывающие заметное влияние на демпфирование перекрытия.

Все конструкции пола разделены на три группы. Первую представляют деревянные полы, собираемые из отдельных элементов, сравнительно слабо связанных между собой, и имеющих значительную податливость при ударе. Ко второй отнесены полы из линолеума, релина, плитки ПВХ и др., устраиваемые по древесностружечным плитам, монолитным неармированным стяжкам или мелкогабаритным сборным бетонным плитам. В неармированных стяжках, как правило, образуются усадочные трещины, которые разделяют стяжку на слабо связанные между собой части. Полы третьей группы — это полы из тех же материалов, устраиваемые по армированным крупногабаритным бетонным основаниям. Такие полы имеют наибольшую изгибную жесткость при других равных условиях по сравнению с полами первых двух групп.

Полученная на основании испытаний 38 вариантов перекрытий зависимость изменения индекса изоляции ударного шума ΔI_V от пяти указанных параметров аппроксимирована выражением (42):

$$\Delta I_V = 10 \lg \left[\left(\frac{B00}{f_0} \right)^{2,5} \sqrt{\frac{h_{c,n}}{2}} 10^{0,025 (I_V^{H,4} - 70)} \right] + \Delta_{Y2} + \Delta_{Y3},$$

где величины Δ_{Y2} и Δ_{Y3} учитывают влияние материала и конструкции пола, материала звукоизоляционной прослойки.

Среднеквадратичное отклонение вычисленных по этой формуле значений ΔI_V от экспериментальных равно 1,1 дБ.

Выражения для определения изменения индексов звукоизоляции в результате устройства пола ΔI_B и ΔI_V проверены путем сравнения их расчетных значений с измеренными в натурных условиях. Использованы результаты измерений звукоизоляции в жилых домах 56 вариантов (412 образцов) междуэтажных перекрытий [19]. Испытанные перекрытия состояли из несущих частей в виде панелей сплошного сечения толщиной 10, 11, 12 см из тяжелого бетона; толщиной 10 см из керамзитобетона плотностью 1300—1500 кг/м³, шатровых панелей из тяжелого бетона с толщиной плиты 5 и 6 см, многоспустотных настилов толщиной 22 см из тяжелого бетона, ребристых плит ребрами вверх высотой 9 и 20 см также из тяжелого бетона. Полы выполнены из шпунтованных досок по лагам, из штучного паркета по доскам и лагам, из древесностружечных плит по лагам, из штучного паркета, линолеума, релина, поливинилхлоридной плитки, уложенных по монолитным стяжкам из цементного раствора, керамзитобетона, пенобетона, по сборным панелям основания пола из керамзитобетона, гипсоцементного бетона, по древесностружечным плитам. Для звукоизоляционных прослоек использованы минераловатные, стекловолоконные плиты и маты, мягкие древесноволокнистые, а также пенополистирольные, фибролитовые плиты, засыпки из кварцевого песка и металлургического шлака. Поверхностная плотность перекрытий от 160 до 414 кг/м². Индексы изоляции воздушного шума I_B составили от 45 до 57 дБ, приведенного уровня ударного шума I_V — от 76 до 54 дБ.

Результаты натурных измерений подтверждают значительное влияние на звукоизолирующую способность перекрытий конструктивных параметров пола. Так, у перекрытий с несущими железобетонными панелями толщиной 10 см, которые испытаны в домах одинаковой конструктивно-планировочной структуры с примерно одинаковыми толщинами стен, индексы изоляции воздушного шума изменялись от 47 до 55 дБ в зависимости от конструкции раздельного пола и материала звукоизоляционной прослойки. Диапазон изменения в зависимости от конструкции пола составил 6 дБ при несущих панелях толщиной 10 см из керамзитобетона, 5 дБ при несущих панелях толщиной 12 см из тяжелого бетона и при несущей части из многоспустотных железобетонных настилов. Такое изменение звукоизоляции нельзя объяснить изменением интенсивности косвенной передачи звука, так как влияющие на нее параметры практически не менялись.

Расчетный индекс изоляции воздушного шума определен по формуле

$$I_B = I_B^{H,4} + \Delta I_B.$$

где $I_B^{H,4}$ — подсчитан по формулам (15), (16) и (19);

ΔI_B — по формуле (29). Расчетные индексы I_B отличаются от фактических в среднем на 0,7 дБ.

Расчетный индекс I_y вычислен как

$$I_y = I_y^{н.ч} - \Delta I_y,$$

где $I_y^{н.ч}$ — подсчитан по формуле (38);
 ΔI_y — по формуле (42). Расчетные индексы I_y отличаются от фактических в среднем на 1 дБ.

Оценка соответствия перекрытий нормативным требованиям по расчетным и фактическим индексам изоляции воздушного шума и приведенного уровня ударного шума совпала в 54 случаях из 56. Имея в виду большое разнообразие испытанных вариантов перекрытий, полученное совпадение можно признать удовлетворительным для практического расчета, который позволяет при проектировании зданий учитывать влияние конструктивных параметров перекрытия и характеристик применяемых материалов на изоляцию воздушного и ударного шума.

Рассмотренные методы расчета индексов изоляции воздушного и ударного шумов можно использовать и для перекрытий со слоистыми полами, в которых покрытия — штучный паркет, линолеум и т.д. уложены непосредственно на материал звукоизоляционной прослойки. Однако при этом трудно определить низшую собственную частоту конструкций, так как линейная жесткость звукоизоляционной прослойки в этом случае зависит от деформативности материалов в контактах между покрытием пола, слоями звукоизоляционной прослойки, несущей частью перекрытия. Подсчет по формуле (28) дает завышенную жесткость прослойки и приводит к результатам, сильно отличающимся от экспериментальных.

На испытательном стенде и в жилых домах измеряли изменения индексов изоляции воздушного шума и приведенного уровня ударного шума в результате устройства различных слоистых полов. Так как все конструктивные параметры испытанных перекрытий известны, расчет по методике, описанной в п.6, позволил найти линейную жесткость звукоизоляционной прослойки S по экспериментальным значениям ΔI_B и ΔI_y . Два значения S , подсчитанные для данного варианта пола по измеренным величинам ΔI_B и ΔI_y , как правило, близко совпадают, что подтверждает правильность полученных результатов.

Слоистые полы испытывали на панелях сплошного сечения толщиной 8 и 10 см из керамзитобетона, на многопустотных железобетонных настилах толщиной 22 см с цементной стяжкой толщиной 2,6 и 8,3 см на испытательном стенде; на железобетонных панелях толщиной 12 см в домах серии 1Р-303 в Красногорске, серий 1ЛГ-502 и 1ЛГ-602 в Ленинграде и толщиной 14 см в доме серии П4/22 в Москве. При подсчетах за поверхностную плотность пола принимали поверхностную плотность покрытия и первого подстилающего слоя.

Ниже приведены значения линейной динамической жесткости S звукоизоляционных прослоек слоистых полов, полученные описанным способом:

Конструкция слоистого пола без покрытия (сверху вниз)	$S \cdot 10^{-7}$, Па/м
Твердая (0,4 см), полутвердая (0,8 см), мягкая (2,5 см) древесноволокнистые плиты	1
Твердая (0,4 см), полутвердая (0,8 см), мягкая (1,2 см) древесноволокнистые плиты	1,5
Твердая (0,4 см), мягкая (1,2 см) древесноволокнистые плиты	3
Два слоя твердой древесноволокнистой плиты (по 0,4 см), плита полистирольного пенопласта (2 см) плотностью 20–30 кг/м ³	3
Плита полистирольного пенопласта (2 см) плотностью не более 60 кг/м ³	4
Три слоя гипсовой сухой штукатурки (по 1 см)	3,5
То же, два слоя	4
То же, один слой	6,5
Один слой резино-кордного материала "Рекорд" (1,6 см)	4,5
Два слоя резино-кордно-битумного материала "Рекобит" (по 1,2 см)	2,5

Наличие жестких связей между полом на звукоизоляционной прослойке и несущей частью междуэтажного перекрытия меняет характер передачи звука через ограждение.

Передача звука через жесткие связи исследована теоретически, экспериментально на моделях [11, 12] и на образцах перекрытий в натуральную величину [21]. Междуэтажное перекрытие без жестких связей и с жесткими связями между полом и несущей частью испытано на испытательном стенде ЦНИИЭП жилища [21]. Несущая часть перекрытия — железобетонная панель толщиной 10 см размером в плане 520 × 320 см, опертая по контуру. На нее по полосовым звукоизоляционным прокладкам из минераловатных плит плотностью 50 и 130 кг/м³ укладывали панель основания пола толщиной 4 см из керамзитобетона.

Жесткие связи создавали гипсоцементным раствором между стенами, несущей частью перекрытия и панелью пола по ее контуру или между полом и несущей частью перекрытия по полю помещения. Жесткие связи способствуют приближению звуко-

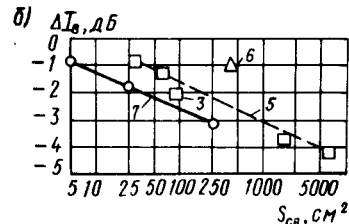
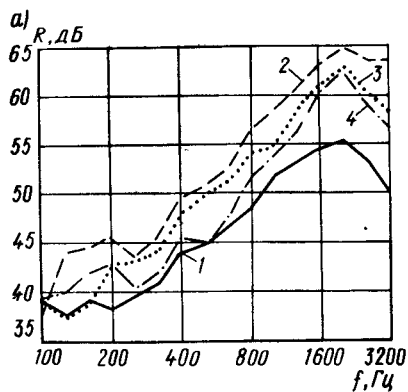


Рис. 42. Изменение звукоизолирующей способности перекрытия (а) и индекса изоляции воздушного шума (б) под воздействием жестких связей между полом и несущей частью перекрытия

1 — несущая часть без пола; 2 — перекрытие с полом, жестких связей нет; 3 — то же, жесткие связи в углах пола; 4 — то же, по всему контуру пола; 5 — то же, по контуру пола; 6 — то же, в середине боковых сторон пола; 7 — то же, по полю помещения; $S_{св}$ — площадь жестких связей

изолирующей способности перекрытия к аналогичному показателю его несущей части (рис.42,а). Наиболее опасны жесткие связи между полом и несущей частью перекрытия, расположенные по полю помещения (рис.42,б). В этом случае колебания передаются по жестким связям в тех зонах плит, где амплитуда вибраций наибольшая. При расположении жестких связей по контуру пола наиболее чувствительными к их влиянию местами оказываются углы, а наименее чувствительными — середины сторон пола (рис.42,б).

Еще в большей степени жесткие связи снижают изоляцию ударного шума (рис.43). При этом также звукоизоляция перекрытия с отдельным полом приближается к звукоизоляции несущей части, а связи, расположенные в пределах площади пола, в большей степени ухудшают звукоизоляцию, чем связи, расположенные по его контуру. Следует отметить, что снижение звукоизоляции, вызванное жесткими связями, зависит от того, насколько она была улучшена устройством пола. Чем выше степень этого улучшения, тем большее снижение звукоизоляции могут вызвать жесткие связи. Поэтому наиболее чувствительны к ним перекрытия с легкими несущими элементами, устройство раздельного пола по которым дает наибольшее увеличение изоляции воздушного шума, а также перекрытия с полами на эффективных звукоизоляционных прослойках, значительно улучшающими изоляцию ударного шума.

Звукоизолирующая способность перекрытий с полами на прослойках из эффективных материалов, в первую очередь минераловатных, зависит от толщины прослойки, которую она сохра-

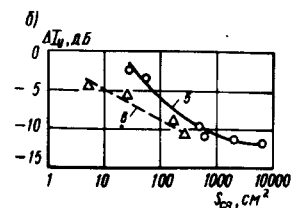
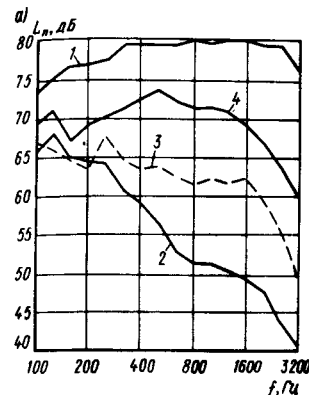


Рис. 43. Изменение приведенного уровня ударного шума (а) и индекса приведенного уровня ударного шума (б) под воздействием жестких связей между полом и несущей частью

1 — несущая часть перекрытия (без пола); 2 — перекрытие с полом без жестких связей; 3 — то же, жесткие связи в углах; 4 — то же, по всему контуру пола; 5 — то же, в некоторых местах по контуру пола; 6 — то же, по полю помещения; $S_{св}$ — площадь жестких связей

няет в период эксплуатации. В доме серии 1-464А в пос. Ильинском (Московская обл.) проведено наблюдение за изменениями толщины звукоизоляционной прослойки и звукоизоляционных качеств перекрытия. По несущим железобетонным панелям толщиной 10 см уложены полосовые прокладки из минераловатных плит на синтетическом связующем марки ПП-80 и керамзитобетонные панели основания пола толщиной 4 см. Покрытие пола — поливинилхлоридная плитка. Толщина прокладок измерена до и после монтажа панели основания пола, а затем — в моменты измерений звукоизоляции. После укладки покрытия пола толщину прокладок определяли, измеряя уровень поверхности пола относительно неподвижного репера в стене с помощью водяного уровнемера. При этом учитывали прогиб несущей части перекрытия, который определяли, измеряя уровень поверхности потолка относительно репера.

Звукоизоляцию перекрытия измеряли до заселения, сразу после заселения дома и через один год его эксплуатации. Средняя толщина прокладок в необжатом состоянии — 4,9 см. К моменту измерения в незаселенном доме она составляла 3,5 см, сразу после заселения — 2,9 см и через год эксплуатации — 2,2 см. Относительное сжатие материала до заселения дома и через год эксплуатации было равно соответственно 0,29 и 0,55. Для плит марки ПП-80 расчетное относительное сжатие при кратковременной и длительной нагрузке составляет: $\epsilon_k = 0,35$ и $\epsilon_d = 0,65$ (см. табл.1). Меньшее значение измеренных в доме деформаций объясняется несколько меньшей фактической удельной нагрузкой на прокладки.

Средние индексы изоляции воздушного шума и приведенного уровня ударного шума, измеренные до заселения дома, равны:

Т а б л и ц а 16. Изменение звукоизоляционных качеств перекрытий с деревянными полами в процессе эксплуатации

Серия дома	Звукоизоляционная прослойка	Индексы звукоизоляции воздушного шума и приведенного уровня ударного шума, дБ, измеренные							
		до сдачи дома		через 1 год эксплуатации		через 2 года эксплуатации		через 3 года эксплуатации	
		I_v	I_y	I_v	I_y	I_v	I_y	I_v	I_y
1ЛГ-606	Штучные прокладки из минераловатных плит	54	63	51	64,7	50	62,8	49,3	62,7
	Полосовые прокладки из минераловатных плит	51	64,7	—	—	49,7	64,7	—	—
1ЛГ-507	То же, из мягких древесноволокнистых плит, песок между лагами	49,8	61	49	61	49,8	60,8	—	—

Т а б л и ц а 17. Изменение звукоизоляционных качеств перекрытий со звукоизоляционной прослойкой из пенополистирола в процессе эксплуатации

Срок эксплуатации, годы	I_v , дБ	I_y , дБ
0	52	62
1	52	65
2	52	66
4	52	66
8	52	64

$I_v = 53$ и $I_y = 65,7$ дБ. После заселения дома они снизились соответственно на 1 и 2,3 дБ, что хорошо согласуется с расчетными данными снижения звукоизоляции, вызванного уменьшением толщины звукоизоляционной прослойки. При измерениях через год эксплуатации отмечена стабилизация звукоизоляционных качеств перекрытия. Произошедшее за год уменьшение толщины звукоизоляционной прослойки не вызвало заметных изменений звукоизоляции.

Надежным свидетельством изменения качества звукоизоляционной прослойки является изменение в процессе эксплуатации индекса приведенного уровня ударного шума в случае, когда покрытие пола выполнено из материала, не подверженного заметному старению, например из дерева. На изоляцию ударного шума, в противоположность изоляции воздушного шума, мало влияют сквозные щели, которые могут образоваться или раскрыться в процессе эксплуатации. В качестве примера в табл.16 приведены индексы звукоизоляции, измеренные до заселения и в процессе эксплуатации в домах серий 1ЛГ-606 и 1ЛГ-507 в Ленинграде, где были устроены полы из паркета по дощатому основанию на лагах и различным звукоизоляционным прослойкам на шатровых панелях перекрытия.

Неизменность изоляции ударного шума свидетельствует о сохранности свойств звукоизоляционной прослойки. Наблюдаемые изменения изоляции воздушного шума объясняются раскрытием сквозных щелей. На это же указывает характер измерения звукоизолирующей способности перекрытий — ухудшение произошло на высоких частотах (см. рис.12).

Наблюдение за сохранностью звукоизоляционных качеств перекрытий приобретает особое значение в случае применения в звукоизоляционной прослойке нового, ранее не использовавшегося для этой цели материала. Результаты восьмилетних наблюдений за звукоизоляцией в жилом доме серии 1Р-303 в Красно-

горске, где устроены полы из паркета по цементной стяжке толщиной 4 см, пергамину и звукоизоляционной прослойке толщиной 1,8 см из пенополистирола плотностью 20 кг/м³ на несущих железобетонных панелях толщиной 12 см, приведены в табл.17.

Изоляция воздушного шума фактически не менялась, а изоляция ударного шума стабилизировалась после двух лет эксплуатации. Полученные результаты дают основание для широкого применения пенополистирола в звукоизоляционных прослойках перекрытий в виде сплошного слоя.

Глава III.

НАТУРНАЯ ПРОВЕРКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ В ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЯХ В ДОМАХ – ПРЕДСТАВИТЕЛЯХ НОВЫХ ПРОЕКТОВ

Повышение требований к звукоизоляции в жилых зданиях [53] вызвало необходимость пересмотра и модернизации многих проектных решений внутренних ограждающих конструкций. Одновременно с этим в новых типовых проектах жилых домов предусмотрено применение ряда новых материалов, конструкций. Натурная проверка обеспеченности звукоизоляции в домах – представителях новых проектов позволяет выявить фактические звукоизоляционные качества конструкций, их возможные недостатки на ранней стадии внедрения проекта в массовое строительство и внести в него необходимые коррективы.

Стандартная методика контроля проектных решений (в части звукоизоляции зданий) в домах – представителях новых проектов [9] предусматривает измерения звукоизоляции в полностью законченных и подготовленных к сдаче в эксплуатацию зданиях, а в случае применения конструкций, звукоизоляции которых может изменяться во времени, также через два года эксплуатации. Конструкции каждого варианта испытывают не менее чем на 10 образцах. Если это невозможно, испытывают меньшее их число (но не менее пяти). В этом случае отдельные образцы испытывают по два раза, чтобы общее число измерений составило 10. Если индексы звукоизоляции каких-либо образцов отличаются от среднего значения для конструкции данного варианта более чем на ± 3 дБ, эти образцы испытывают повторно.

Кроме средних индексов звукоизоляции, которые округляют до целого числа децибел, для оценки соответствия конструкции нормативным требованиям используют также минимальные индексы изоляции воздушного шума $I_{\text{в}}^{\text{min}}$ и максимальные индексы приведенного уровня ударного шума $I_{\text{у}}^{\text{max}}$, полученные при испытании всех образцов конструкции данного варианта.

Звукоизоляция ограждений соответствует нормативным требованиям, если выполнены условия: $I_{\text{в}}^{\text{ср}} \geq I_{\text{в}}^{\text{н}}$ и $I_{\text{у}}^{\text{ср}} \leq I_{\text{у}}^{\text{н}}$. В случаях, когда при этом более 20% индексов звукоизоляции испытанных образцов не соответствуют нормативным требованиям, должны быть также выполнены условия: $I_{\text{в}}^{\text{min}} \geq I_{\text{в}}^{\text{н}} - 2$ дБ и $I_{\text{у}}^{\text{max}} \leq I_{\text{у}}^{\text{н}} + 3$ дБ.

Так как во многих проектных решениях межквартирных стен были предусмотрены сквозные отверстия для установки приборов скрытой электропроводки (штепсельных розеток, распаячных коробок, выключателей), при испытании звукоизоляции использована методика, которая позволяет выявить влияние таких отверстий на звукоизоляцию и определить звукоизоляционные характеристики конструкций при правильном решении скрытой электропроводки (без сквозных отверстий). Для этого межквартирные стены со скрытой электропроводкой испытывают дважды. При втором испытании в местах расположения штепсельных розеток, распаячных коробок и др. с двух сторон стены устанавливают звукоизоляционные коробки (заглушки). Благодаря пенополиуретановой прокладке создается плотное соединение, когда заглушка прижата к поверхности стены.

Испытаны дома — представители проектов с тремя разными конструктивно-планировочными структурами: крупнопанельные дома с малым шагом поперечных несущих стен; со смешанным шагом поперечных несущих стен, имеющие как большой, так и малый планировочные шаги; кирпичный дом со смешанным шагом поперечных несущих стен и ненесущими наружными стенами из легких слоистых панелей.

Проекты новых серий зданий, прошедшие натурную проверку, предназначены для применения на действующих и строящихся домостроительных комбинатах.

11. КРУПНОПАНЕЛЬНЫЕ ДОМА С МАЛЫМ ШАГОМ НЕСУЩИХ СТЕН

Натурная проверка обеспечения звукоизоляции в проектных решениях выполнена в домах — представителях проектов серий 111—121, 111—90, 111—91, разработанных ЦНИИЭП жилища, 111—99, разработанном архитектурно-конструкторской мастерской им. акад. В.А. Веснина совместно с ЦНИИЭП жилища. Это крупнопанельные здания с малым шагом поперечных несущих стен.

Дома—представители серии 111—121 испытаны в гг. Воскресенске и Жуковском Московской обл. Это пятиэтажные четырехсекционные здания с наружными однослойными стенами из керамзитобетона, внутренними поперечными и продольными несущими стенами толщиной 16 см (межквартирные) и 12 см (межкомнатные) из тяжелого бетона. Поперечные несущие стены установлены с двумя планировочными шагами: 3,2 и 2,6 м. Несущие панели типовых перекрытий железобетонные толщиной 10 см. В доме в г. Жуковском уложены также экспериментальные панели перекрытия толщиной 16, 18 и 20 см. Дома этой серии предназначены для производства на действующих заводах

при сравнительно небольшой модернизации формовочного оборудования.

Девятиэтажный четырехсекционный дом представитель серии 111—90—3 испытан в Смоленске. Основные конструктивные отличия от серии 111—121 — увеличенные планировочные шаги поперечных несущих стен — 3,6 и 3 м и большая толщина железобетонной панели перекрытия — 12 см.

Третья и четвертая серии домов с малым шагом поперечных несущих стен рассчитаны на комплексное применение легких бетонов на пористых заполнителях.

В Липецке испытан девятиэтажный пятисекционный дом серии 111—91—93, все основные конструкции которого выполнены из шлакопемзобетона: наружные однослойные стены, внутренние несущие стены из панелей толщиной 18 см (межквартирные) и 12 см (межкомнатные), несущие панели междуэтажных перекрытий толщиной 10 см. Плотность шлакопемзобетона, использованного для элементов внутренних несущих конструкций — 1900 кг/м³. Несущие поперечные стены расположены с шагами 3,3 и 2,7 м.

В Чапаевске испытан пятиэтажный шестисекционный жилой дом серии 111—99, все основные конструкции которого выполнены из керамзитобетона. Наружные однослойные стены имеют толщину 27 см, внутренние несущие стены — 20 см (межсекционные и межквартирные), 12 см (межкомнатные), несущие панели междуэтажного перекрытия размером на комнату — 10 см. Плотность керамзитобетона, использованного для изготовления элементов несущих внутренних конструкций, — 1450—1550 кг/м³. Планировочный шаг поперечных несущих стен — 3 и 3,6 м.

Особенностью рассматриваемых зданий является применение несущих панелей перекрытия размером на комнату или конструктивную ячейку, которые опираются на стены по четырем сторонам. В них отсутствуют стыки между сборными элементами перекрытия, которые расположены в пределах помещения, а также свободные примыкания перекрытия к наружным стенам. Сборные элементы внутренних стен как поперечных, так и продольных находятся примерно в одинаковых условиях затружения, поэтому их взаимные перемещения в стыках мало вероятны. Указанные условия обеспечивают достаточную надежность сохранности звукоизолирующей способности в стыках, если они правильно законструированы и выполнены. С другой стороны, большинство жилых помещений в таких зданиях ограждено с трех сторон или с двух длинных сторон внутренними несущими стенами. Это является причиной значительного влияния на звукоизоляцию ограждений косвенной передачи звука по стенам в случае применения акустически однородных перекрытий.

Испытания в доме—представителе серии 111—121 в г. Жуковском акустически однородных перекрытий с полом из линолеума на мягкой подоснове и несущими панелями с проектной толщи-

Т а б л и ц а 18. Звукоизоляционные качества междуэтажных перекрытий в домах серий 111—121 и 111—90

Серия дома	Конструкция пола	q , кг/м ²	I_B , дБ	I_Y , дБ
111—121	Паркет (1,6 см), доски (2,9 см), лаги (4 × 8 см), полосовые прокладки из минераловатных плит на синтетическом связующем	270	51	65
	Доски (2,9 см), лаги (4 × 8 см), полосовые прокладки из мягких древесноволокнистых плит	260	49	67
111—90	Паркет (1,6 см), доски (2,9 см), лаги (4 × 8 см), полосовые прокладки из мягких древесноволокнистых плит	310	55	63

ной 16, 18 и 20 см (см. п.9) подтвердили необходимость значительного повышения расхода бетона в здании для обеспечения требуемой звукоизоляции при указанной конструкции перекрытий. При толщине внутренних несущих стен 12 и 16 см для надежного обеспечения требуемой звукоизоляции толщина сплошной железобетонной плиты акустически однородного перекрытия должна быть 18—20 см. Уточнить это значение следует более широкой проверкой в условиях массового строительства для учета влияния на звукоизоляцию неоднородности характеристик покрытия пола на мягкой подоснове и качества строительных работ.

В связи с тем, что для акустически однородных перекрытий требуется большой расход бетона, при проектировании рассматриваемых крупнопанельных домов предпочтение отдается перекрытиям с раздельным полом.

В домах, построенных по проектам серий 111—121 и 111—90, в качестве основного варианта пола использованы деревянные полы на лагах и звукоизоляционных прокладках. При обследовании испытанных конструкций было обнаружено, что во время строительства не было соблюдено требование проекта по отделению деревянного пола от стен зазором, заполненным звукоизоляционным материалом, поэтому во многих случаях пол был жестко связан со стенами. Результаты испытания перекрытий приведены в табл.18.

Жесткие связи между полом и стенами заметно снизили изоляцию ударного шума по сравнению с расчетной (на 3—5 дБ), на изоляцию воздушного шума они повлияли в меньшей степени. Увеличение индекса изоляции ударного шума при наличии жестких связей зависит от эффективности пола (его низшей собственной частоты f_0) и может быть определено [39] по формуле

$$\Delta I_Y = 13(2,75 - \lg f_0) \text{ при } 30 \text{ Гц} \leq f_0 \leq 600 \text{ Гц} . \quad (98)$$

Для испытанных конструкций при наличии жестких связей величина ΔI_Y , подсчитанная по формуле (98), составляет 4—7 дБ, что соответствует ухудшению, выявленному при измерениях. Тем не менее изоляция ударного шума перекрытиями всех трех вариантов удовлетворительна, а в доме серии 111—90 она превышает нормативную ($I_Y^H = 67$ дБ) на 4 дБ.

В перекрытиях с дощатым полом в доме серии 111—121 были применены прокладки из мягких древесноволокнистых плит недостаточной толщины — 25 мм (согласно расчету толщина их в такой конструкции должна быть не меньше 32 мм). Это послужило причиной неудовлетворительной изоляции воздушного шума. Два других варианта конструкции с запасом обеспечивают требования по изоляции воздушного шума ($I_B^H = 50$ дБ) при поверхностной плотности перекрытия 270—310 кг/м².

Испытания подтвердили, что в домах с малым шагом несущих стен перекрытия с несущими железобетонными панелями толщиной 10 или 12 см обеспечивают нормативные требования к звукоизоляции при использовании сравнительно легких деревянных полов. Для надежного соответствия требованиям толщину звукоизоляционной прослойки нужно назначать согласно расчету (см. п.6) и соблюдать при строительстве предусмотренную проектом раздельность пола (не допускать жестких связей пола с несущей частью перекрытия и стенами).

Межквартирные стены в домах двух рассматриваемых серий имеют одинаковую конструкцию — они выполнены из железобетонных панелей сплошного сечения толщиной 16 см. Скрытая электропроводка находится в каналах панелей, штепсельные розетки установлены в сквозных отверстиях диаметром 7 см, распаячные коробки — в сквозных полукруглых лунках радиусом 7 см, расположенных под потолком. Во всех испытанных межквартирных стенах отверстия, в которых установлены штепсельные розетки, дополнительно не заделаны.

В доме серии 111—121 испытаны стены с отверстиями двух вариантов: с круглыми отверстиями и лунками и только с круглыми отверстиями. Результаты испытаний по описанной методике, которая позволяет выявить влияние сквозных отверстий на звукоизоляцию, приведены в табл.19. Испытания проведены до сдачи домов в эксплуатацию.

Т а б л и ц а 19. Влияние скрытой электропроводки на звукоизоляционные качества стен в домах серий 111–121 и 111–90

Серия дома	Способ закрытия лунок для распаячных коробок	$I_{\text{в}}$, дБ, стены	
		без отверстий ¹	с отверстиями
111–121 (Воскресенск)	Лунок в панели нет	50,8	49,1
	Пластмассовые крышки с двух сторон	50	49
111 90 (Смоленск)	То же	51,8	47,7
111–121 (г. Жуковский)	С одной стороны пластмассовая крышка, с другой заделка раствором	50	49

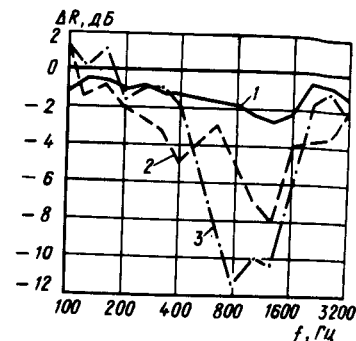
¹ Места расположения штатных розеток и распаячных коробок закрыты заглушками.

Межквартирные стены из железобетонных панелей толщиной 16 см без отверстий соответствуют нормативным требованиям по звукоизоляции ($I_{\text{в}}^H = 50$ дБ). Сквозные отверстия с установленными в них элементами скрытой электропроводки снизили индекс изоляции воздушного шума на 1–4 дБ. Ухудшение произошло в области средних и высоких частот (рис.44). Низшая резонансная частота сквозного отверстия или щели в ограждении толщиной 16 см – около 1000 Гц. В этой области звукоизоляция ухудшилась наиболее заметно. Указанные способы заделки сквозных отверстий в стенах не устраняют возможности раскрытия существующих щелей, например в местах примыкания пластмассовых крышек к поверхностям панели или образования новых – в результате усадки раствора, которым заполнены лунки для распаячных коробок.

В доме серии 111–121 в г. Жуковском испытаны межквартирные стены после одного года и двух лет эксплуатации. В результате отмечено дополнительное снижение индекса изоляции воздушного шума соответственно на 1 и 2 дБ. Ухудшение звукоизоляции в период эксплуатации имеет такой же характер, как первоначальное, вызванное сквозными отверстиями с установленными в них элементами скрытой электропроводки (рис.45). В том же доме испытаны стены аналогичной конструкции, имеющие повышенную звукоизолирующую способность в результате особенностей планировочного решения. Эти стены из панелей, размеры

Рис.44. Изменение звукоизолирующей способности межквартирных стен, вызванное прохождением звука через отверстия для скрытой электропроводки

1 – из железобетонных панелей толщиной 16 см в доме серии 111–121; 2 – то же, толщиной 18 см в доме серии П–60; 3 – из двух железобетонных панелей толщиной по 12 см, разделенных деформационным швом в доме серии 111–90



которых превышают размеры разделяемых помещений, обеспечивают лучшую звукоизоляцию как при обычном устройстве скрытой электропроводки, так и при использовании заглушек.

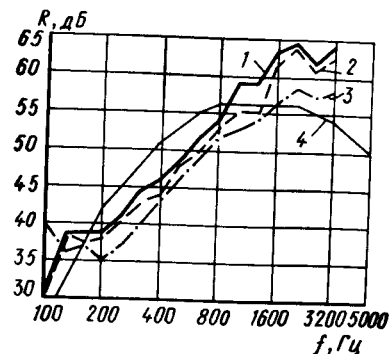
Особый интерес представляют результаты испытания стен, разделяющих помещения разных размеров (табл.20). При этом площадь стены, подверженная воздействию звукового поля, меняется в зависимости от того, в каком помещении расположен источник шума. Соответственно меняется и измеренный индекс изоляции воздушного шума.

Отношение полной площади панели к ее площади, подверженной воздействию звукового поля, в рассмотренных случаях составляет 1,38–1,44. Увеличение индекса изоляции воздушного шума, подсчитанное по формуле (51), составляет $\Delta I_{\text{в}} = 1,3 \div 1,6$ дБ, что близко к значениям, полученным при измерениях.

В доме серии 111–90 в Смоленске испытаны межсекционные стены, расположенные в месте устройства деформационного шва здания. Они состоят из двух железобетонных панелей толщиной по 12 см с зазором между ними 2 см. Сквозные отверстия для электропроводки оказали на звукоизолирующую способность

Рис.45. Звукоизолирующая способность межквартирных стен из железобетонных панелей толщиной 16 см в доме серии 111–121

1 – без отверстий; 2 – с отверстиями для скрытой электропроводки до сдачи дома; 3 – то же, после двух лет эксплуатации; 4 – нормативная кривая



Т а б л и ц а 20. Влияние планировочного параметра l/l_1 на звукоизоляционные качества межквартирных стен в доме серии 111—121

Планировочное решение или вариант испытания	$\frac{l}{l_1}$	I_v , дБ, стены	
		без отверстий	с отверстиями
Длина панели равна длине разделяемых помещений	1	50	48,9
Длина панели больше длины разделяемых помещений	1,44	52,3	50,4
Источник звука в большом помещении	1	50,2	—
Источник звука в малом помещении	1,38	51,9	—

двойных стен значительное влияние; индексы изоляции воздушно-го шума I_v , измеренные в двойных стенах, без отверстий и с отверстиями, соответственно равны 59 и 56 дБ.

В домах с комплексным применением легких бетонов на пористых заполнителях (серий 111—91 и 111—99) полы разделяемые, устраиваемые из различных покрытий по бетонному основанию. В доме серии 111—91 бетонное основание пола представляет собой либо монолитную цементную стяжку, либо сборную панель толщиной 4 см размером на комнату из шлакопемзобетона. Плотность шлакопемзобетона в несущих панелях перекрытия толщиной 10 см — 1900 кг/м³, в панелях основания пола — 1600 кг/м³. В доме серии 111—99 применены комплексные панели перекрытия, изготовленные в едином технологическом цикле и включающие несущую керамзитобетонную панель сплошного сечения толщиной 10 см, звукоизоляционную прослойку и керамзитобетонное основание пола толщиной 4 см. Плотность керамзитобетона в несущих панелях перекрытий 1500 кг/м³, в панелях основания пола — 1200 кг/м³. Перекрытия имеют комбинированную звукоизоляционную прослойку из двух материалов — минераловатных и мягких древесноволокнистых плит. Расположенные сверху древесноволокнистые плиты препятствуют неравномерному обжатию минераловатных плит во время бетонирования основания пола, при этом исключается возможность образования жестких связей между полом и несущей частью перекрытия по площади конструкции. Результаты испытания перекрытий приведены в табл.21.

Легкобетонные перекрытия поверхностной плотностью 210—280 кг/м³ с запасом обеспечивают нормативные требования по звукоизоляции.

Т а б л и ц а 21. Звукоизоляционные качества междуэтажных перекрытий в домах серий 111-91 и 111-99

Серия дома	Конструкция пола	q , кг/м ²	I_v , дБ	I_u , дБ
111—91	Паркет (1,6 см), цементная стяжка (4,5 см), сплошной слой мягких древесноволокнистых плит (2,5 см)	280	52	66
	Паркет (1,6 см), шлакопемзобетонная панель основания пола (4 см), полосовые прокладки из мягких древесноволокнистых плит (3,75 см)	270	51	71
	То же, но сплошной слой минераловатных плит (5 см в необжатом состоянии)	270	56	65
111—99	Линолеум, керамзитобетонное основание пола (4 см), сплошной слой мягких древесноволокнистых плит (1,2 см) и минераловатных плит (5 см в необжатом состоянии)	210	53	59

Неудовлетворительная изоляция ударного шума отмечена только при одном варианте пола в доме серии 111—91. Вскрытие плинтусов у перекрытий этого варианта показало, что зазоры между бетонным основанием пола и стенами заполнены раствором и строительным мусором вместо звукоизоляционных прокладок. Это нарушение проекта при строительстве и вызвало заметное снижение изоляции ударного шума.

Межквартирные стены из шлакопемзобетонных панелей толщиной 18 см испытаны в доме серии 111—91 при двух вариантах планировочного решения: в первом длины панелей и разделяемых помещений равны, во втором длина помещений меньше, чем длина панелей. Испытаны также межсекционные двойные стены из шлакопемзобетонных панелей толщиной по 12 см, разделенных зазором шириной 2 см, которые образуют деформационный шов здания. Двойные стены испытаны при втором варианте планировочного решения. Плотность шлакопемзобетона 1800—1900 кг/м³; модуль упругости $(1,9-2) \cdot 10^{10}$ Па. Выполнена следующая заделка отверстий для элементов электропроводки: лунки для распаячных коробок с двух сторон заделаны раствором; в одной группе стен штепсельные розетки установлены с двух сторон, во второй — только с одной стороны, с другой стороны отверстие заделано раствором. Результаты испытаний приведены в табл.22.

Т а б л и ц а 22. Звукоизоляционные качества межквартирных стен в доме серии 111—91

Характеристика конструкций и варианта испытания	I_B , дБ, стены	
	без отверстий	с отверстиями
Одинарная стена (длина панели равна длине разделяемых помещений):		
розетки установлены с одной стороны	53	53
розетки установлены с двух сторон	53	51,2
Одинарная стена (длина панели больше длины разделяемых помещений), сквозных отверстий нет	55	—
Двойная стена; длина панели больше длины разделяемых помещений, сквозных отверстий нет	60,8	—

Индекс изоляции воздушного шума однородной стены из панели толщиной 18 см на 3 дБ превышает расчетное значение, что объясняется повышенным коэффициентом потерь этого материала (см. п.7). В случае, когда звуковое поле воздействует только на часть площади панели стены ($L/L_1 = 1,6$), звукоизолирующая способность дополнительно возрастает на 2 дБ. Подсчет по формуле (50) дает тот же прирост индекса изоляции воздушного шума ($\Delta I_B = 2$ дБ).

В доме серии 111—99 межквартирные стены толщиной 20 см выполнены из керамзитобетона плотностью 1450—1500 кг/м³ с модулем упругости $(1,5-1,55) \cdot 10^{10}$ Па. Средний индекс изоляции воздушного шума, измеренный при испытании этих стен, $I_B = 51$ дБ совпадает с расчетным.

В пос. Ватутинки Московской обл. испытан крупнопанельный жилой дом с улучшенными планировкой и эксплуатационными качествами, построенный по проекту серии 4570—73/75, который призван заменить проект серии 4570/63. Пятиэтажное пятисекционное здание имеет поперечные несущие стены, расположенные с единым планировочным шагом 3,2 м, из железобетонных панелей толщиной 21 см с круглыми пустотами. Эти конструкции с запасом удовлетворяют нормативные требования по звукоизоляции ($I_B = 51$ дБ) при поверхностной плотности 337 кг/м², а при заполнении пустот керамзитом нормативные требования превышены на 3 дБ. В доме устроена плintусная разводка электропроводки, установлены плintусные штепсельные розетки,

потолочные переключатели. Такая система электропроводки позволила исключить сквозные отверстия в стенах. Повторные испытания стен со штепсельными розетками, закрытыми заглушками, подтвердили отсутствие повышенной передачи звука в этих зонах.

Междуэтажные перекрытия выполнены из железобетонных панелей сплошного сечения толщиной 11 см с полом из паркета толщиной 1,6 см, уложенного по цементной стяжке толщиной 3 см, слою пергамина и засыпке толщиной 6 см из керамзита плотностью 500—600 кг/м³.

Обследование показало, что в нарушение указаний проекта стяжка не была отделана зазором от стен, так что между полом и несущей частью перекрытия имелись жесткие связи. Средние индексы звукоизоляции составляют: $I_B = 50$, $I_Y = 69$ дБ. Изоляция воздушного шума удовлетворительна, а ударного — на 2 дБ ниже нормативных требований. Расчетные индексы, определенные по методике, описанной в п.6, равны: $I_B = 51$ и $I_Y = 66$ дБ. Увеличение индекса приведенного уровня ударного шума под влиянием жестких связей между полом и несущей частью, подсчитанное по формуле (99), $\Delta I_Y = 4$ дБ. Ухудшение фактической изоляции ударного шума, по сравнению с расчетной, составило 3 дБ. Таким образом, отличие фактических и расчетных индексов звукоизоляции, как и отмеченная неудовлетворительная изоляция ударного шума, объясняется жесткой связью пола со стенами и через них с несущей частью перекрытия. При соблюдении требований проекта к раздельности пола, т.е. отсутствию жестких связей между полом и несущей частью перекрытия, звукоизоляция соответствует нормативным требованиям.

12. КРУПНОПАНЕЛЬНЫЕ ДОМА СО СМЕШАННЫМ ШАГОМ НЕСУЩИХ СТЕН

Особенность зданий этой конструктивно-планировочной системы — использование, наряду с малым, большого планировочного шага поперечных несущих стен (около 6 м). Из-за сложности транспортирования плиты перекрытия большого пролета не изготавливают размерами на конструктивную ячейку, поэтому перекрытия имеют стыки в пределах помещения. В зданиях со смешанным шагом несущих стен элементы перекрытия свободно примыкают к самонесущим вертикальным элементам (наружным стенам, вентиляционным блокам и т.д.).

Соседство несущих и самонесущих стен, условия нагружения которых сильно отличаются, повышает вероятность взаимных перемещений стыкуемых элементов в процессе эксплуатации. В промежутке между несущими стенами, расположенными с большим шагом, устанавливают ненесущие перегородки, в стыках которых с перекрытиями взаимные перемещения в процессе

эксплуатации неизбежны. Таким образом, в зданиях этой конструктивно-планировочной системы больше вероятность возникновения или раскрытия сквозных щелей в стыках (что менее благоприятно для сохранности звукоизоляционных качеств конструкций во времени), чем в домах с малым шагом поперечных несущих стен. Вместе с тем в этих зданиях интенсивность косвенной передачи звука по внутренним стенам меньше, что объясняется значительно меньшими коэффициентами передачи вибрации в стыках перегородок с перекрытиями, чем в стыках перекрытий и несущих стен.

В зданиях рассматриваемой конструктивно-планировочной системы применяют также малый шаг несущих поперечных стен. Это позволяет все межквартирные стены выполнять из несущих железобетонных панелей. В ячейках малого шага укладывают плиты перекрытий размером на эту конструктивную ячейку. Помещения здесь с трех или двух длинных сторон ограничены внутренними несущими стенами. Этим ячейкам присущи преимущества и недостатки, свойственные зданиям с малым шагом поперечных несущих стен.

Испытания проведены в домах—представителях проектов серий 111—83 и П—60.

Проект серии 111—83 призван заменить на домостроительных комбинатах различные модификации проекта крупнопанельных домов серии 1—468. Основные конструктивные отличия дома: смешанный шаг поперечных несущих стен 6 и 3 м, что позволило принять все межквартирные стены из несущих железобетонных панелей толщиной 16 см; применение для пролета 6 м предварительно-напряженных железобетонных панелей перекрытия сплошного сечения толщиной 16 см взамен многопустотных настилов толщиной 22 см. Для перекрытия малых пролетов использованы железобетонные панели той же толщины без предварительного напряжения арматуры. Наружные стены выполнены в них из однослойных керамзитобетонных панелей.

В Таганроге испытан пятиэтажный шестисекционный дом такой серии. Измерения выполнены НИИСФ при участии ЦНИИЭП жилища. В Туле испытан девятиэтажный многосекционный дом серии 111—83.

Дом серии П—60 — пример крупнопанельного жилого здания повышенной этажности со смешанным планировочным шагом поперечных несущих стен: 6 и 3 м. Планировка дома коридорная, чем обусловлено наличие трех продольных планировочных шагов: 6; 1,8 и 6 м. Внутренние несущие стены из железобетонных панелей толщиной 20, 18 и 14 см, несущие панели перекрытия железобетонные сплошного сечения толщиной 16 см, при пролете 6 м — предварительно-напряженные. Наружные стены представляют собой навесные керамзитобетонные ленточные панели с межоконными слоистыми декоративными вставками. Шестнад-

цатиэтажный двухсекционный дом серии П—60—02/13Т испытан в г. Тольятти.

Преимущество рассматриваемой конструктивно-планировочной системы, заключающееся в меньшей интенсивности косвенной передачи звука по внутренним стенам, позволило в качестве основного конструктивного решения принять акустически одно-родные перекрытия из панелей сплошного сечения толщиной 16 см с полом из линолеума на мягкой подоснове.

Расчет по методике (см. п.6) показывает, что при опирании на несущие внутренние стены толщиной 16 см эти перекрытия обеспечивают требуемую изоляцию воздушного шума при условии сохранения целостности стыков.

Выравнивающая стяжка под линолеумом проектом не предусмотрена. В соответствии со СНиП III—В.14—72 между поверхностью основания пола и двухметровой рейкой (с помощью которой контролируют ровность пола) просветы должны быть в любом месте не более 2 мм для возможности укладки линолеума на мягкой подоснове. В доме серии 111—83 в Таганроге из-за недостаточной точности изготовления сборных элементов перекрытий и их монтажа пришлось сделать по ним выравнивающую цементную стяжку средней толщиной 4,5 см. Таким образом, проектное решение перекрытия в этом доме выполнить не удалось. В результате использования очень пластичного раствора, а также из-за неблагоприятных условий твердения стяжка во многих местах треснула и отслоилась от перекрытия. Несмотря на значительную дополнительную массу стяжка с трещинами и отслоениями почти не повышает звукоизолирующую способность несущей части перекрытия, так как не увеличивает ее изгибную жесткость. Самостоятельные колебания отслоившейся стяжки могут даже ухудшить изоляцию воздушного шума.

Пол выполнен из линолеума на теплозвукоизолирующей подоснове фирмы "Гумми-Эйхлер". Результаты измерения до и после настилки линолеума показали, что он ухудшил изоляцию воздушного шума перекрытием на 1—1,5 дБ. Средние индексы звукоизоляции, измеренные до сдачи дома, составили: $I_v = 49$ и $I_y = 62$ дБ.

В перекрытиях, выполненных в доме серии 111—83, построенном в Туле, линолеум на войлочной подоснове уложен непосредственно по несущим плитам без выравнивающей стяжки (в соответствии с проектом). Это стало возможным благодаря более высокой точности их изготовления и монтажа. Правда, требования к ровности пола в ряде помещений не соблюдены.

В связи с опасностью образования и раскрытия щелей в стыках между сборными элементами перекрытия в доме-представителе серии 111—83 в Туле были испытаны стыки различных вариантов.

Согласно проекту, зазор в стыке заполняют раствором, при этом в углублениях на боковых поверхностях плит образуются

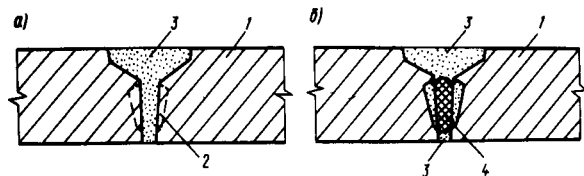


Рис.46. Стык панелей перекрытия большого пролета в доме серии 111-83
1 — панель перекрытия; 2 — углубления для шпонок;
3 — раствор; 4 — герметик

растворные шпонки, препятствующие взаимному перемещению плит в вертикальном направлении (рис.46). Два варианта стыка имели предусмотренное проектом заполнение раствором и отличались шириной зазора в узком месте стыка: в одном варианте выдержана проектная ширина зазора 2 см, в другом — плиты уложены без специального контроля за шириной зазора. Фактическая ширина зазора во втором случае составляет от 0 до 1 см, что вызвано отклонениями ширины плит в большую сторону и неточностью монтажа. Два других варианта стыка выполнены с уплотняющими прокладками в его узкой части. Углубления для образования шпонок предварительно заделаны раствором. В стыках одного варианта уложены уплотняющие шнуры диаметром 4 см из пористой резины марки ПРП-1, другого варианта — полосы из пенополиуретана. При укладке уплотняющих материалов в стык они обжимались: пористая резина в среднем на 10-20%, пенополиуретан — на 50-60%. Оставшиеся полости в стыке сверху и снизу заделаны раствором.

В том же доме испытаны перекрытия малого пролета, представляющие собой несущие панели размером на конструктивную ячейку.

Линолеум на войлочной подоснове уложен с приклейкой по контуру помещений и в стыках полотен.

Звукоизоляция измерена до укладки линолеума, после его укладки до сдачи дома в эксплуатацию, а также спустя один и два года (табл.23).

Из данных табл.23 видно, что укладка линолеума на мягкой подоснове вызвала снижение индекса изоляции воздушного шума на 2 дБ. Уменьшение звукоизолирующей способности произошло в области низшей собственной частоты покрытия (рис.47).

После двух лет эксплуатации изоляция ударного шума удовлетворительна при всех вариантах перекрытия; изоляция воздушного шума соответствует требованиям норм при перекрытиях малого пролета и большого пролета в случаях уплотнения стыков пенополиуретаном и пористой резиной. В случае заделки

Т а б л и ц а 23. Звукоизоляционные качества перекрытий в доме серии 111-83, дБ

Вариант конструкции перекрытия	Без пола		С полом при сроке эксплуатации					
	I_v	I_y	0		1 год		2 года	
			I_v	I_y	I_v	I_y	I_v	I_y
Малый пролет	—	—	50	62	50	65	50	64
Большой пролет								
заделка стыка раствором при ширине зазора:								
2 см	52	77	50	63	49	65	49	65
0-1 см	—	—	50	63	49	66	49	66
уплотнение стыка пористой резиной	—	—	51	60	51	65	50	65
уплотнение стыка пенополиуретаном	—	—	50	60	50	66	50	66

П р и м е ч а н и е. Прочерки означают, что эти конструкции без пола не испытывали.

стыков раствором изоляция воздушного шума на 1 дБ ниже нормативной.

Звукоизолирующая способность перекрытий малого пролета несколько понизилась на высоких частотах (рис.48), что можно объяснить образованием сквозной щели в месте пропуска трубы стояка отопления через перекрытие. Отмечено также некоторое повышение звукоизолирующей способности на низких частотах. Оно объясняется различием акустических условий в помещениях



Рис.47. Звукоизолирующая способность перекрытия из железобетонных сплошных панелей толщиной 16 см в доме серии 111-83
1 — без пола; 2 — с полом из линолеума на войлочной подоснове; 3 — нормативная кривая

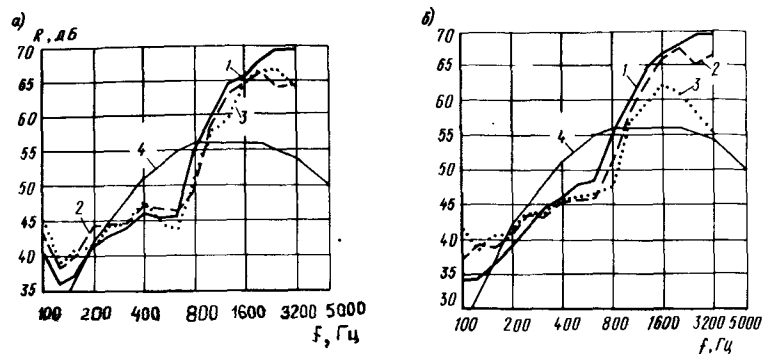


Рис.48. Звукоизолирующая способность перекрытий малого (а) и большого (б) пролета в доме серии 111-83

1 — до сдачи дома; 2 — через 1 год эксплуатации; 3 — через 2 года эксплуатации; 4 — нормативная кривая

до и после заселения дома. Первые измерения выполнены в одинаковых пустых помещениях. Совпадение мод двух помещений вызывает явление резонанса и повышенную передачу звука на этих частотах [73]. С увеличением частоты описанное явление сглаживается, так как из-за небольших отклонений в размерах помещений их собственные частоты смещаются относительно друг друга. После меблировки помещений их моды меняются и совпадения собственных частот соседних помещений не происходит. При измерениях это выражается в увеличении звукоизолирующей способности на низких частотах.

Полученный индекс изоляции воздушного шума превышает на 1 дБ расчетный, который определен по методике, изложенной в п.6 для перекрытия малого пролета из железобетонной панели толщиной 16 см, опирающейся на внутренние несущие стены той же толщины. Это объясняется влиянием планировки. Жилые комнаты занимают только часть панели перекрытия малого пролета, остальная ее часть занята коридором. Отношение полной площади панели к части ее площади, подверженной при испытании воздействию звукового поля, составляет 1,2. Увеличение индекса изоляции воздушного шума, связанное с воздействием планировочного фактора, которое подсчитано по формуле (50), равно $\Delta I_v = 0,8$ дБ. Расчетное значение близко совпадает с измеренным.

После первого года эксплуатации изменение звукоизолирующей способности перекрытий большого пролета имело примерно тот же характер, что у перекрытий малого пролета (см. рис.48). Это также объясняется образованием щели в месте пропуска через перекрытие трубы стояка отопления. Исключение составляют перекрытия со стыком, заделанным раствором при толщине

зазора 2 см, у которого обнаружено большее снижение звукоизоляции на высоких частотах. В этом случае усадка раствора в стыке привела, по-видимому, к образованию трещин, повлиявших на звукоизоляцию.

За второй год эксплуатации у перекрытий большого пролета произошло значительное снижение звукоизолирующей способности на высоких частотах, хотя оно не отразилось заметно на значениях индекса изоляции воздушного шума, так как изменения произошли выше нормативной кривой. Ухудшение, которое может быть объяснено только образованием сквозных щелей, произошло у перекрытий с заделкой стыка всех вариантов. Причиной ухудшения звукоизоляционных качеств стыков с уплотняющими материалами могут быть углубления в поверхностях плит для образования шпонок, где раствор в результате усадки мог отслоиться от бетона плиты и образовать "обходную" щель. Результаты эксперимента указывают на значительную трудность надежного уплотнения расположенного в пределах помещения стыка между сборными элементами перекрытия. Тем не менее перекрытия с расположенными в стыках уплотняющими пористыми материалами обеспечили больший на 1 дБ индекс изоляции воздушного шума, чем перекрытия со стыками, заделанными раствором.

За два года эксплуатации изоляция ударного шума перекрытиями ухудшилась на 2-6 дБ, что объясняется более плотным прилеганием покрытия к основанию и некоторым обжатием его мягкой подосновы. Примечательно, что после двух лет эксплуатации у перекрытий всех вариантов индексы приведенного уровня ударного шума совпадают с точностью ± 1 дБ. Частотные характеристики приведенного уровня ударного шума, измеренные через один и два года эксплуатации, практически совпадают, что свидетельствует о стабилизации звукоизоляционных качеств конструкции.

В домах серии 111-83 предусмотрены межквартирные стены той же конструкции, что в домах с малым шагом поперечных несущих стен рассмотренных выше серий — из железобетонных панелей толщиной 16 см. В Таганроге испытаны стены двух вариантов, отличающихся заделкой отверстий для скрытой электропроводки. В межквартирных стенах, расположенных внутри секций, штробельные розетки установлены с двух сторон, а лунки для распаячных коробок с двух сторон закрыты пластмассовыми крышками. В межсекционных стенах устройства электропроводки установлены только с одной стороны. С другой стороны стены отверстия и лунки заделаны раствором. Измеренные до сдачи дома в эксплуатацию индексы изоляции воздушного шума I_v стенами первого и второго вариантов соответственно равны 49 и 50 дБ. Таким образом, звукоизоляционные качества межквартирных стен из железобетонных панелей толщиной 16 см

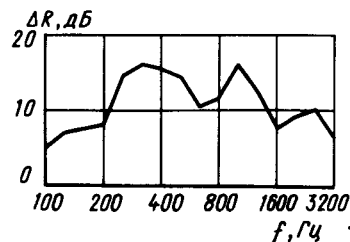


Рис. 49. Увеличение звукоизолирующей способности двойной стены из железобетонных панелей толщиной по 16 см по сравнению с одинарной

в домах рассматриваемой конструктивно-планировочной системы такие же, что и в домах с малым шагом поперечных несущих стен.

В доме серии 111–83 в Таганроге испытаны также межсекционные стены из двух железобетонных панелей толщиной по 16 см. Панели, разделенные зазором шириной 2 см, образуют деформационный шов здания. Средний измеренный индекс изоляции воздушного шума двойной стеной равен 62 дБ.

Испытание в одном доме двойной и одинарной стен из одинаковых панелей позволяет определить изменение звукоизолирующей способности в результате установки второй панели (рис. 49). Сравнение этого изменения с соответствующими значениями, полученными для двойных стен из гипсобетонных плит, которые испытаны без жестких связей и с жесткими связями по контуру (см. рис. 6), показывает, что в двойной стене, образующей деформационный шов, в доме серии 111–83 жесткие связи имеются. Образование жестких связей возможно, например, в результате записания в зазоре между панелями раствора, попадающего в него при монтаже панелей перекрытия и стен. Зазор шириной 2 см не исключает возможность жестких связей между элементами двойной стены.

В доме серии II–60 перекрытия большого пролета, так же как в доме серии 111–83, имеют стыки, расположенные в пределах помещения, а перекрытия малого пролета выполнены из панелей размером на конструктивную ячейку. Однако жилое помещение, расположенное в ячейке с малым пролетом, ограничено со стороны, противоположной наружной стене, вентиляционным блоком, который отделяет его от санитарно-технического узла. Самонесущий вентиляционный блок пропущен в отверстие в панели перекрытия. Полы выполнены из паркетных щитов толщиной 3,2 см по лагам сечением 2,5 × 8 см и полосовым прокладкам из мягких древесноволокнистых плит. Швы в стыках между сборными элементами перекрытий большого пролета шириной 2 см по проекту должны быть заполнены раствором, в трех точках по длине шва предусмотрены металлические связи между соседними плитами. Результаты испытаний перекрытий дома этой серии приведены в табл. 24.

Т а б л и ц а 24. Звукоизоляционные качества перекрытий в доме серии II–60

Вариант перекрытия	Индексы звукоизоляции перекрытий, дБ, измеренные			
	до сдачи дома		через 2 года эксплуатации	
	I_v	I_y	I_v	I_y
Из панелей малого пролета	56	60	53	62
Из плит большого пролета	54	66	53	65

Оба варианта перекрытия после двух лет эксплуатации обеспечивают изоляцию воздушного шума на 3 дБ и ударного на 2–5 дБ выше нормативной. При испытании до сдачи дома в эксплуатацию звукоизоляционные качества перекрытий большого пролета со стыками в пределах помещения были хуже, чем у перекрытий из панелей размером на конструктивную ячейку. Это ухудшение было вызвано прохождением звука через щели в стыках, заделка которых была неудовлетворительной. Дефекты в заполнении стыков обнаружены при вскрытии пола в одном из помещений. Повторное устройство пола в этом помещении после правильной заделки стыков заметно улучшило звукоизоляцию.

Статистический анализ показывает, что происшедшие за два года эксплуатации изменения изоляции воздушного шума перекрытий значимы, а изоляции ударного шума — не значимы. Это объясняется довольно большим разбросом результатов отдельных измерений изоляции ударного шума. Таким образом, можно считать, что за прошедшее время эксплуатации изоляция ударного шума перекрытиями практически не изменялась. Это позволяет с большей уверенностью связать ухудшение изоляции воздушного шума с раскрытием в несущей части перекрытия сквозных щелей. Увеличение жесткости звукоизоляционной прослойки в первую очередь должно было привести к ухудшению изоляции ударного шума, чего не наблюдается.

Уменьшение звукоизолирующей способности перекрытий после двух лет эксплуатации произошло в области средних и высоких частот (рис. 50), что характерно для прохождения звука через щели. Раскрытие трещин в перекрытиях большого пролета наиболее вероятно в стыках между сборными элементами, а в перекрытиях малого пролета — в месте пропуска через перекрытие самонесущего вентиляционного блока. Не исключено также образование сквозных щелей в местах примыкания перекрытий к навесным панелям наружных стен.

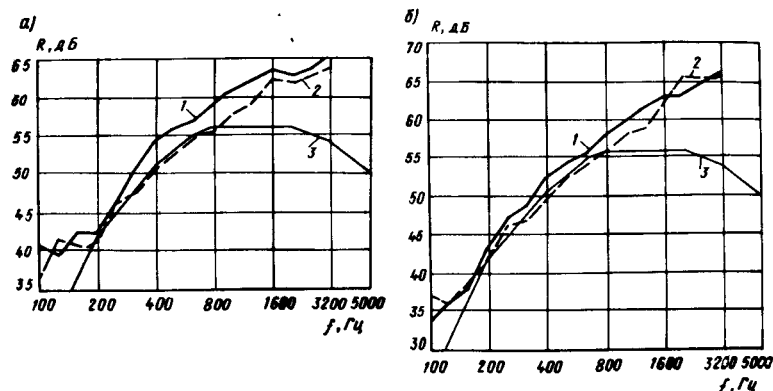


Рис.50. Звукоизолирующая способность перекрытий малого (а) и большого (б) пролетов в доме серии П-60

1 — до сдачи дома; 2 — через 2 года эксплуатации; 3 — нормативная кривая

В доме серии П-60 испытаны межквартирные стены из железобетонных панелей сплошного сечения толщиной 18 и 20 см. Они стыкуются с самонесущими ленточными керамзитобетонными панелями наружной стены и межоконными легкими многослойными вставками. В зазоре этого стыка шириной 2 см проектом предусмотрено размещение гермитового шнура с последующей конопаткой шва паклей, смоченной в гипсовом растворе. Однако, по данным обследования, фактическая ширина зазора колебалась от 0 до 1,5 см и составляла в среднем 0,4 см. Это в большинстве случаев исключало возможность укладки гермитового шнура.

Скрытая электропроводка выполнена в каналах панелей стен, штепсельные розетки установлены с двух сторон в сквозных отверстиях, а распаечные коробки расположены в полостях

Таблица 25. Звукоизоляционные качества межквартирных стен в доме серии П-60

Толщина панели стены, см	I_v , дБ, стены		
	без отверстий	с отверстиями, при сроке эксплуатации	
		0	2 года
18	52,6	49,7	47,8
20	52,9	51,5	50,3

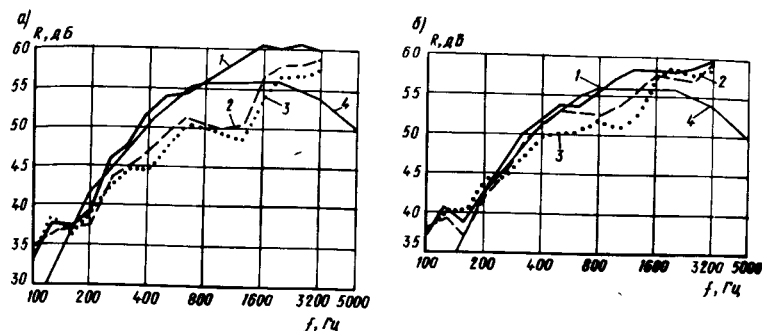


Рис.51. Звукоизолирующая способность межквартирных стен из железобетонных панелей толщиной 18 см (а) и 20 см (б) в доме серии П-60

1 — стена без отверстий; 2 — то же, с отверстиями для скрытой электропроводки; 3 — то же, после двух лет эксплуатации; 4 — нормативная кривая

панелей перекрытий, которые закрыты снизу пластмассовыми крышками. Звукоизоляцию стен измеряли до сдачи дома, в том числе с установкой заглушек на штепсельных розетках, и после двух лет эксплуатации. Результаты испытаний сведены в табл.25.

Максимальное снижение звукоизолирующей способности стен в результате прохождения звука через сквозные отверстия для скрытой электропроводки (рис.51) произошло вблизи низших собственных частот (800—1000 Гц) отверстий в ограждениях рассматриваемой толщины. Ухудшение звукоизоляции за два года эксплуатации дома произошло в области тех же частот, что и первоначальное. Его причиной может быть как раскрытие щелей в местах устройств скрытой электропроводки, так и образование трещин в стыках межквартирных стен с наружными. Из-за происшедшего ухудшения звукоизоляции за два года эксплуатации дома произошло в области тех же частот, что и первоначальное. Его причиной может быть как раскрытие щелей в местах устройств скрытой электропроводки, так и образование трещин в стыках межквартирных стен с наружными. Стены же толщиной 20 см соответствуют нормам, хотя большой запас звукоизолирующей способности этой конструкции оказался исчерпанным в результате прохождения звука через щели.

13. КИРПИЧНЫЙ ДОМ С НАРУЖНЫМИ СТЕНАМИ ИЗ ЛЕГКИХ НАВЕСНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Испытаны ограждающие конструкции дома, построенного в Череповце по проекту серии Э-182, разработанному ЦНИИЭП жилища. Здание пятиэтажное шестисекционное с поперечными несущими кирпичными стенами и наружными стенами из легких навесных панелей с эффективным утеплителем. Эти панели тол-

Т а б л и ц а 26. Звукоизоляционные качества перекрытий
в доме серии 3—182

Материал покрытия пола	Индексы звукоизоляции перекрытий, дБ, измеренные					
	до сдачи дома		через 1 год эксплуатации		через 3 года эксплуатации	
	I_v	I_y	I_v	I_y	I_v	I_y
Паркет	61	58	58	58	56	59
Твердая древесноволокнистая плита	60	58	57	59	55	60

щиной 17,6 см имеют наружные обшивки из асбестоцементных листов, укрепленные на деревянном каркасе, и утеплитель из стекловолоконных плит плотностью 75 кг/м³. Шаг поперечных несущих стен — 6,44; 3,8 и 3,22 м.

Внутренняя конструктивно-планировочная структура здания близка крупнопанельным со смешанным шагом поперечных несущих стен. Массивные кирпичные стены в отличие от бетонных панельных обуславливают меньшую интенсивность косвенной передачи звука в вертикальном направлении. Вместе с тем применение легких наружных стен создает определенные особенности (о чем будет сказано ниже) в распространении звука в здании. Несущая часть междуэтажных перекрытий — железобетонные настилы толщиной 22 см с круглыми пустотами. Полы выполнены в двух вариантах: с покрытием из штучного паркета толщиной 1,6 см или из твердой древесноволокнистой плиты толщиной 0,5 см по доскам — 2,5 см, лагам сечением 4 x 8 см и полосовым прокладкам из мягких древесноволокнистых плит толщиной 2,5 см. Результаты испытания перекрытий приведены в табл.26.

Перекрытия обеспечили весьма высокую изоляцию воздушного и ударного шума. Это объясняется, в частности, малой интенсивностью косвенной передачи звука по стенам.

Межсекционные и межквартирные кирпичные стены толщиной 38 см оштукатурены с двух сторон. В межквартирных стенах, расположенных внутри секции, устроена электропроводка, причем для размещения штатных розеток сделаны гнезда глубиной 5—6 см, а для распаячных коробок — сквозные круглые отверстия. Межквартирные стены примыкают к наружным в месте расположения стыка легких навесных панелей. Эти примыкания выполнены в двух вариантах: в одном — зазор между наружной стеной и торцом внутренней уплотнен конопаткой и двумя герметиковыми шнурами диаметром 4 см, в другом — только конопаткой.

В межсекционных стенах электропроводки нет. Они примыка-

Т а б л и ц а 27. Звукоизоляционные качества межквартирных стен
в доме серии 3—182

Стена	Уплотнение стыка	Индекс изоляции воздушного шума I_v , дБ, измеренный			
		до сдачи дома		через 1 год эксплуатации	через 3 года эксплуатации
		без отверстий	с отверстиями		
Межквартирная	Гернитом, конопаткой	59	58	58	56
"	Конопаткой	60	59	58	55
Межсекционная	Гернитом	50	—	50	49
"	Цементным раствором	51	—	51	49

ют к наружной стене в середине легкой навесной панели размером на две комнаты. Здесь также использовано уплотнение двух вариантов: в одном — это гермитовые шнуры, в другом — зазор заделан раствором. Результаты испытания внутренних стен на звукоизоляцию приведены в табл.27.

Из данных табл.27 видно, что межсекционные стены имели индексы изоляции воздушного шума на 9—10 дБ ниже, чем межквартирные при совершенно одинаковой конструкции. Ухудшение наблюдается во всем частотном диапазоне, но особенно на частотах выше 500 Гц (рис.52). На частоте 2500 Гц снижение звукоизолирующей способности этих стен составляет 19 дБ. Ухудшение звукоизоляции объясняется косвенной передачей звука по панели наружной стены. Звуковая энергия распространяется как по обшивке панели из асбестоцементного листа, так и по внутренней полости панели. Граничная частота асбестоцементного листа толщиной 1 см равна 2500 Гц. На этой частоте наблюдается наибольшее снижение звукоизолирующей способности межквартирной стены.

Стекловолоконные плиты, которыми заполнена полость слоистой панели, имеют низкое сопротивление продуванию, которое характеризует возможность распространения звуковых волн по воздушным порам материала, поэтому он не может полностью воспрепятствовать прохождению звуковой энергии вдоль полости, которая играет роль волновода. С наибольшей интенсивностью волновод проводит звуки той частоты, при которой половина длины звуковой волны равна или в целое число раз меньше его поперечного размера. При ширине полости внутри панели 15 см наибольшая интенсивность передачи звука по волноводу будет наблюдаться на частотах выше 1000 Гц.

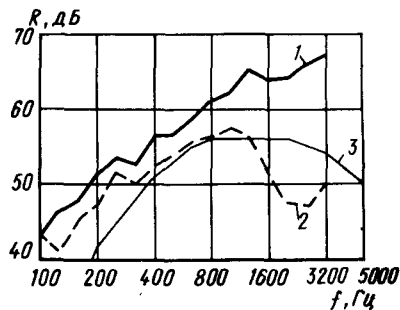


Рис. 52. Звукоизолирующая способность межквартирных (1) и межсекционных (2) кирпичных стен в доме серии Э-182; 3 — нормативная кривая

Таким образом, оба пути передачи звука по обшивке панели и по ее полости создают наибольшие возможности для распространения звуковой энергии именно на тех частотах, на которых наблюдается наибольшее снижение звукоизоляции.

Устройство в стенах сквозных отверстий для распаячных коробок снизило индекс изоляции воздушного шума в среднем на 1 дБ. Снижение звукоизолирующей способности стен наблюдается на частотах выше 400 Гц. Примерно этому значению равна низшая резонансная частота отверстия в рассматриваемой стене.

Изоляция воздушного шума межквартирными стенами понизилась за три года эксплуатации на 2–4 дБ. Большее ухудшение звукоизоляционных качеств произошло у стен, стыки которых с панелями наружных стен заполнены только конопаткой. В случаях когда эти стыки уплотнены гермитовым шнуром — изоляция ухудшалась меньше. Изоляция воздушного шума межсекционными стенами после трех лет эксплуатации оказалась ниже нормативной. Это произошло несмотря на большой запас звукоизолирующей способности кирпичных стен и может быть объяснено как влиянием косвенной передачи звука по легким панелям наружных стен, так и раскрытием щелей в стыках между внутренними и наружными стенами.

Очевидно, что необходимы конструктивные меры, исключающие косвенную передачу звука по наружной стене. Одной из простых мер является использование такой разрезки наружных стен, при которой межквартирные стены примыкают к стыкам легких навесных панелей.

За три года эксплуатации изоляция перекрытиями ударного шума ухудшилась незначительно (на 1–2 дБ), а изоляция воздушного шума понизилась на 5 дБ при обоих вариантах полов. Такое соотношение происшедших изменений позволяет считать, что их основная причина — раскрытие сквозных щелей, которое наиболее вероятно в месте примыкания перекрытия к легким навесным панелям наружных стен.

14. ИЗОЛЯЦИЯ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ОТ ЛЕСТНИЦ И КОРИДОРОВ

Звукоизоляция жилых комнат от коридоров, лестниц, холлов в значительной степени зависит от конструкции входных дверей в квартиру. В соответствии с ГОСТ 6629–64, эти двери должны иметь полотно со сплошным реечным заполнением, порог и уплотнение притвора по всему контуру пенополиуретановым шнуром по ГОСТ 10174–72.

О том, в какой степени принятая конструкция двери удовлетворяет требованиям по звукоизоляции жилых комнат квартиры от коридора, можно судить по результатам натурных измерений, выполненных в доме серии П–60 в г. Тольятти.

Измерения звукоизоляции жилых комнат от коридоров проведены для двух планировочных вариантов. В первом — жилая комната расположена смежно с коридором, так что звук проникает в нее как через двери, так и через стену. Во втором — жилая комната не примыкает к коридору и звук проникает в нее только через двери. Эти варианты отличаются также тем, что в первом из них дверь не имеет фрамуги, а во втором над входной дверью устроена фрамуга. Квартиры отделены от общего коридора стенами из железобетонных панелей толщиной 14 см. Уплотняющий шнур в притворах входных дверей фактически не уложен.

Звукоизоляцию жилых комнат от коридора определяли для двух названных вариантов планировочного решения по четырем разам для каждого помещения:

1) при открытой входной двери в квартиру; 2) то же, при закрытой двери; 3) то же, но дверь дополнительно уплотнена в четвертях коробки прокладками из пенополиуретана толщиной 10 мм; 4) при закрытой и уплотненной двери дополнительно устанавливали щит-заглушку, закрывающую дверной проем со стороны квартиры.

Щит-заглушка выполнен из деревянного каркаса, обшит с двух сторон фанерой, заполнен минераловатными плитами ПП–130 толщиной 30 мм и листами пенополиуретана толщиной по 10 мм, расположенными с двух сторон плиты. По контуру щита наклеены полосы из пенополиуретана толщиной 30 мм, чтобы он плотно прилегал к стене. При втором планировочном решении щит не устанавливали, так как он не закрывал фрамугу. Во всех случаях дверь в жилую комнату из прихожей квартиры была закрыта.

Усредненные результаты измерений звукоизоляции жилых комнат от коридора приведены в табл. 28. Кроме индексов звукоизоляции жилых комнат от коридора в ней указаны их увеличения по мере изменения условий измерения.

Звукоизоляция жилых комнат квартир от общего коридора при фактически выполненной конструкции дверей не удовлетворяет нормативным требованиям. После уплотнения притворов дверей лентами из пенополиуретана звукоизоляция комнат повысилась и стала близка к нормативной (индексы I_g составили,

Т а б л и ц а 28. Характеристики звукоизоляции жилых комнат от коридора в доме серии II-60, дБ

Вариант планировочного решения	Дверь открыта I_{B1}	Дверь закрыта I_{B2}	Улучшение $\Delta I_{B1} = I_{B2} - I_{B1}$	Притвор уплотнен прокладкой I_{B3}	Улучшение $\Delta I_{B2} = I_{B3} - I_{B2}$	Дверь со щитом-заглушкой I_{B4}	Улучшение $\Delta I_{B3} = I_{B4} - I_{B3}$
1	26	41	15	49	8	51	2
2	25	40	15	50	10	—	—

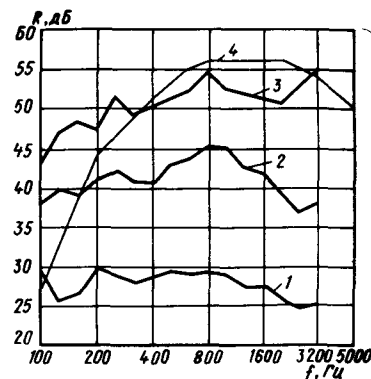
дБ: для первого планировочного решения 49; для второго 50). Индексы звукоизоляции возросли на 8–10 дБ. Это показывает эффективность уплотнения притворов дверей упругомягкими материалами. Благодаря ему ликвидируются щели во входных дверях и значительно повышается звукоизоляция помещений. Изменение частотной характеристики звукоизоляции по мере усиления конструкции двери видно на рис.53. Если укладка уплотняющего шнура реальная мера, которую можно и нужно осуществлять, то установка щита-заглушки только имитирует возможные меры по усилению звукоизоляции двери. Это усиление может быть достигнуто применением более толстого, тяжелого или многослойного дверного полотна, либо другими способами.

После установки щита-заглушки звукоизоляция жилых комнат от коридора возросла на 2 дБ (см. табл.28) и стала выше нормативных требований ($I_B = 51$ дБ). Последний результат представляет особый интерес, если учесть, что индекс изоляции воздушного шума железобетонной стеной толщиной 14 см, отделяющей жилую комнату от коридора, составляет 49 дБ. Это значение получено при измерениях звукоизоляции межквартирных стен из железобетонных панелей толщиной 14 см. Большую звукоизолирующую способность конструкции при ее расположении между жилой комнатой и коридором можно объяснить меньшей интенсивностью косвенной передачи звука. Если при расположении стены между квартирами звук передается также по продольным стенам, выходящим в оба помещения, то в коридоре такие фланговые конструкции отсутствуют, т.е. устранен один из путей косвенной передачи звука.

Планировочные решения, принятые в проектах новых серий, предусматривающие примыкание жилых комнат квартир к лестничным клеткам, вызвали необходимость проверки их изоляции от ударного шума, возбуждаемого на лестницах. Исследования проводили согласно методике измерения изоляции от ударного шума перекрытиями с использованием стандартной

Рис.53. Изоляция жилой комнаты от коридора при закрытой двери в комнату

1 — дверь в квартиру открыта; 2 — то же, закрыта; 3 — то же, притворы уплотнены пенополиуретановой прокладкой; 4 — нормативная кривая



ударной машины фирмы "Брюль и Кьер". Полученные усредненные значения индекса приведенного уровня ударного шума сопоставляли с нормативным значением $I_y^H = 67$ дБ (табл.29).

Изоляция жилых помещений от ударного шума была измерена как при непосредственном их соседстве с лестничными клетками (в домах серий 111-91, 111-83 и II-60), так и в случаях, когда жилая комната отделена от лестницы подсобными помещениями квартиры (например, в доме серии 111-83). Последний вариант взаимного расположения жилых комнат и лестниц — традиционный. Многолетний опыт свидетельствует, что при таком расположении жилых комнат ударные шумы, возникающие на лестницах, не оказывают беспокоящего воздействия на людей в жилых помещениях.

При проведении измерений стандартную ударную машину устанавливали на основной (в уровне этажа) и на промежуточных площадках лестницы. В первом случае изоляцию от ударного шума измеряли в помещениях, расположенных выше и ниже лестничной площадки, а во втором — в помещениях, расположенных на уровне площадки.

Исходя из данных табл.29 прежде всего можно отметить значительное влияние взаимного расположения лестницы и жилой комнаты на ее изоляцию от ударного шума. В случае, когда жилая комната отделена от лестницы подсобными помещениями квартиры, индекс приведенного уровня ударного шума лучше нормативного значения на 4 дБ.

Помещения, примыкающие к лестничному маршу, довольно хорошо изолированы от шумов, возбуждаемых на основной площадке, и хуже — от шумов, возникающих на промежуточной площадке, которая непосредственно связана со стеной, ограждающей комнату. В результате интенсивной передачи вибраций от промежуточной площадки стене, которая излучает звуковую

Т а б л и ц а 29. Изоляция жилых помещений от ударного шума, возникающего на лестнице

Серия дома	Расположение жилой комнаты относительно лестницы	Площадка лестницы с источником шума	Расположение жилой комнаты относительно площадки с источником шума	I_{γ} , дБ
111-91	Примыкает к лестничному маршу	Основная	Выше	62
			Ниже	68
	Примыкает к основной площадке	Промежуточная	На одном уровне	70
II-60		Основная	Выше	72
			Ниже	74
111-83	Примыкает к лестничному маршу		Выше	62
			Ниже	64
		Промежуточная	Выше	66
			На одном уровне	72
	Отделена подсобными помещениями квартиры	Основная	Выше	62
		Промежуточная	На одном уровне	62

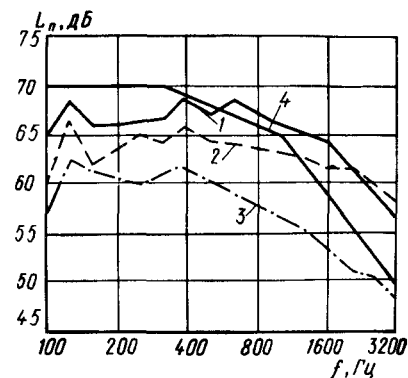
энергию в помещение, его звукоизоляция оказывается значительно ниже нормативной (на 3—5 дБ). При переносе источника звука с основной площадки на промежуточную уровень звукового давления в помещении равномерно возрастает почти во всем частотном диапазоне (рис.54, кривые 1 и 2).

При расположении ударной машины на основной площадке изоляция помещений от ударного шума больше в случае, когда оно расположено выше площадки, чем в случае, когда оно находится ниже. Объясняется это тем, что пол препятствует распространению в помещение звуковой энергии от панели перекрытия, которой передаются вибрации от лестничной площадки. При этом уровень звукового давления снижается в большей степени на высоких частотах (рис.54, кривые 2 и 3), так как звукоизоляционный эффект, создаваемый раздельным полом, повышается с увеличением частоты.

Заметно влияние конструкции лестничной площадки на звукоизоляцию от ударного шума примыкающего помещения: в случае примыкания жилых комнат к площадке из шлакопемзобетона

Рис.54. Приведенный уровень ударного шума в жилых комнатах, примыкающих к лестничному маршу при установке ударной машины

1 — на промежуточной площадке, расположенной в уровне комнаты; 2 — на основной площадке, расположенной выше комнаты; 3 — то же, ниже комнаты; 4 — нормативная кривая



поверхностной плотностью 160 кг/м^2 (в доме серии 111-91) изоляция значительно ниже ($I_{\gamma} = 74-72 \text{ дБ}$), чем в случае примыкания их к железобетонной площадке толщиной 16 см и с поверхностной плотностью около 500 кг/м^2 (дом серии II-60). В последнем случае звукоизоляция вполне удовлетворительная ($I_{\gamma} = 64-62 \text{ дБ}$). Увеличение массивности лестничной площадки способствует уменьшению ее вибрации под воздействием ударов и соответственно улучшению изоляции от ударного шума примыкающей жилой комнаты.

15. ОБЩАЯ ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ВНУТРЕННИХ ОГРАЖДЕНИЙ В НОВЫХ ПРОЕКТАХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Проектирование жилых домов с учетом повышенных нормативных требований к звукоизоляции в них привело в большинстве случаев к применению более надежных и эффективных конструктивных решений, к повышению уровня фактической звукоизоляции в строящихся зданиях. Это можно проследить по результатам натурных измерений.

Наиболее распространенным решением перекрытия в крупнопанельных домах с малым шагом поперечных несущих стен остаются перекрытия с различными видами раздельного пола. Этот тип конструкции широко использовали и в проектах крупнопанельных домов, разработанных до введения повышенных требований к звукоизоляции в 1971 г.

Чтобы выявить изменения, происшедшие при применении новых норм и новых конструктивных решений, целесообразно результаты исследований в домах-представителях новых серий рассмотреть вместе с данными ранее выполненных измерений в домах, которые запроектированы в соответствии со СНиП

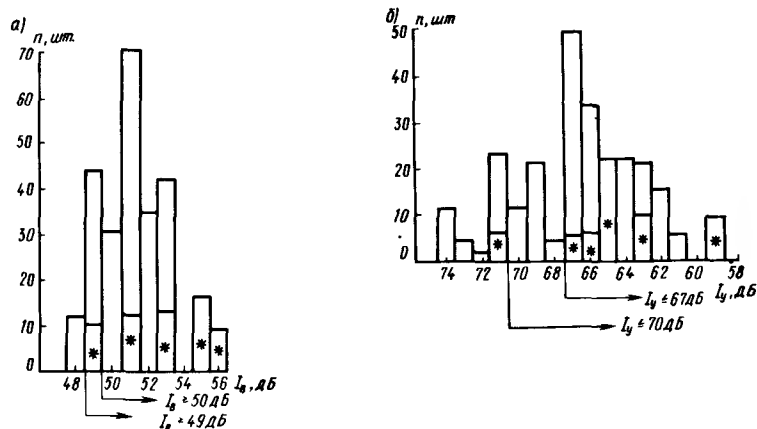


Рис.55. Гистограммы индексов изоляции воздушного шума (а) и приведенного уровня ударного шума (б) перекрытий с раздельным полом в крупнопанельных домах с малым планировочным шагом несущих стен (звездочками отмечены данные, относящиеся к конструкциям, запроектированным по действующим нормам)

П-В.6-62, действовавшим до 1971 г. Такие данные, полученные при натурных испытаниях [22], приведены в виде гистограмм (рис.55), где по вертикальной оси отложено число испытанных перекрытий, а по горизонтальной — средние индексы звукоизоляции для каждой группы конструкций одного дома.

Гистограммы построены по результатам испытаний 264 перекрытий с раздельным полом в 31 доме, построенном в Ленинграде, Вильнюсе, Риге, Баку, Липецке, Смоленске, Рустави, Свердловске и др. по проектам серий 1-464, 1-А3-400, 1-ЛГ-502, 1Р-303 и др., а также в домах-представителях новых проектов (см. п.11). Из них 204 перекрытия запроектированы в соответствии с требованиями, действовавшими до 1971 г. ($I_a^H = 49$, $I_y^H = 70$ дБ) и 60 — в соответствии с современными требованиями к звукоизоляции.

В домах, построенных по старым проектам, перекрытия выполнены из железобетонных панелей толщиной 10 или 12 см. В испытанных перекрытиях применены полы индустриальные (из паркетных досок и щитов, древесностружечных плит, из различных покрытий, уложенных на сборные керамзитобетонные и гипсоцементобетонные основания пола) и традиционные (дощатые, из паркета по дощатому основанию, из различных покрытий: линолеума, резины и др., уложенных на монолитные стяжки). В качестве звукоизоляционных прослоек использованы минераловатные плиты на синтетическом связующем плотностью от 50 до 150 кг/м³, древесноволокнистые плиты, фибролит, засыпки из шлака.

Важное условие обеспечения требуемых звукоизоляционных качеств рассматриваемых перекрытий — раздельность пола, т.е. отсутствие жестких связей его с несущей частью перекрытия, а также со стенами и другими конструкциями здания. Однако при устройстве полов в ряде домов это условие было нарушено, что выявилось при обследовании перекрытий.

Представленные на гистограммах (см. рис.55) результаты натурных измерений позволяют статистически сравнить звукоизоляционные качества групп перекрытий в зависимости от нормативных требований, которые предъявлялись при их проектировании. В табл.30 для перекрытий каждой группы приведены средние значения I_a^{cp} и I_y^{cp} и поверхностной плотности перекрытия q_{cp} , а также число обследованных конструкций n и процент тех из них, которые удовлетворяют требованиям к изоляции воздушного p_a и ударного p_y шумов, предъявлявшиеся при их проектировании.

Средние индексы звукоизоляции превышают нормативные требования как старых, так и действующих норм. Неудовлетворительная звукоизоляция наблюдается исключительно при жестких связях пола с несущей частью перекрытия.

Переход к учету повышенных требований при проектировании перекрытий привел к росту среднего показателя изоляции от воздушного на 2,3 дБ и ударного на 1,4 дБ шумов без увеличения поверхностной плотности конструкции. Улучшение звукоизоляции объясняется в основном применением более эффективных звукоизоляционных материалов.

Предусмотренные в новых проектах перекрытия с различными видами раздельного пола удовлетворяют действующие нормативные требования по звукоизоляции. Для повышения надежности звукоизоляции необходимо соблюдать условие раздельности пола при производстве строительных работ.

Т а б л и ц а 30. Звукоизоляционные качества перекрытий с раздельным полом в крупнопанельных домах с малым планировочным шагом несущих стен

Группа перекрытий	n , шт.	q_{cp} , кг/м ²	I_a^{cp} , дБ	I_y^{cp} , дБ	p_a , %	p_y , %
Перекрытия, запроектированные согласно требованиям, действовавшим до 1971 г. [52]	204	339	50,9	66,4	94	83,2
Перекрытия, запроектированные в соответствии с современными требованиями [54]	60	302	53,2	65	88,3	90

Т а б л и ц а 31. Звукоизоляционные качества акустически однородных перекрытий в крупнопанельных домах с малым планировочным шагом несущих стен

Перекрытия	п, шт.	$q_{ср}$, кг/м ²	$\bar{R}_v$, дБ	$\bar{R}_y$, дБ	p_v , %	p_y , %
Из панелей толщиной 14 см	96	350	46,8	67,7	6,2	70,8
То же, 16 см	37	400	47,1	65,1	0	76

Как один из вариантов перекрытий в некоторых проектах крупнопанельных домах с малым шагом поперечных несущих стен предусмотрены перекрытия из железобетонных панелей сплошного сечения толщиной 16 см с полом из линолеума на мягкой подоснове.

Статистическое сравнение результатов испытаний 96 акустически однородных перекрытий из панелей толщиной 14 см и 37 из панелей толщиной 16 см (рис.56) свидетельствует о том, что увеличения толщины несущей части перекрытия не обеспечило выполнения действующих норм по изоляции воздушного шума (табл.31). (в таблице п — число обследованных перекрытий; p_v — процент конструкций, удовлетворяющих требованиям, которые предъявлялись при их проектировании к изоляции воздушного шума, p_y — то же, ударного шума).

Из данных табл.31 видно, что почти все испытанные перекрытия не обеспечивают нормативные требования по изоляции воздушного шума. Наблюдается большой разброс измеренных индексов приведенного уровня ударного шума (рис.56), что свидетельствует о крайне неоднородном качестве линолеума на мягкой подоснове. Приведенные на гистограмме данные получены при испытаниях перекрытий до заселения домов. Если учесть среднее ухудшение изоляции ударного шума при эксплуатации на 3 дБ, то число конструкций, не обеспечивающих требования по изоляции ударного шума, составит около 60%.

В крупнопанельных домах со смешанным шагом поперечных несущих стен основное конструктивное решение в новых проектах — акустически однородные перекрытия с полом из линолеума на мягкой подоснове. При толщине сплошной плиты 16 см перекрытия соответствуют нормативным требованиям по изоляции воздушного шума при правильном решении расположенных в пределах помещения стыков между элементами перекрытия, обеспечивающем их целостность при эксплуатации. При больших пролетах перекрытия основным фактором, способствующим лучшей звукоизоляции, чем при той же конструкции в домах с малым шагом поперечных несущих стен, является меньшая

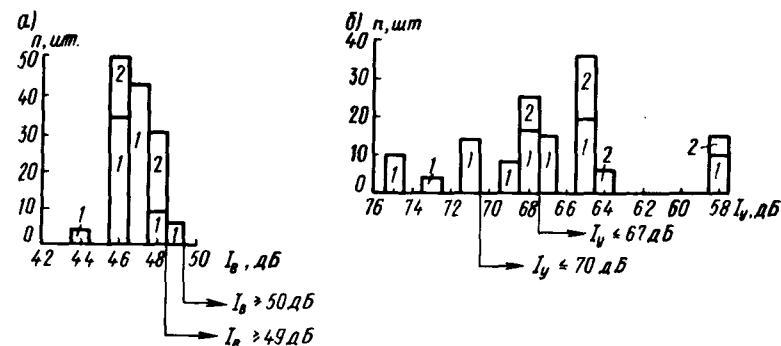


Рис.56. Гистограммы индексов изоляции воздушного шума (а) и приведенного уровня ударного шума (б) перекрытиями с полом из линолеума на войлочной подоснове

1 — из панелей толщиной 14 см; 2 — то же, 16 см

интенсивность косвенной передачи звука, при малом пролете перекрытия благоприятное влияние планировки (помещение занимает только часть несущей панели).

Результаты испытаний перекрытий с отдельными полами, запроектированных в соответствии с нормами, действовавшими до 1971 г., в домах с большим и смешанным шагом несущих стен (серии 1-528, 1-450-9, 1-467, 1-316, 1ЛГ-507 и др.) представлены в виде гистограмм (рис.57).

В несущей части испытанных перекрытий использованы многослойные настилы толщиной 22 см и шатровые панели с полкой толщиной 5 или 6 см. Сравнение результатов испытаний (табл.32)

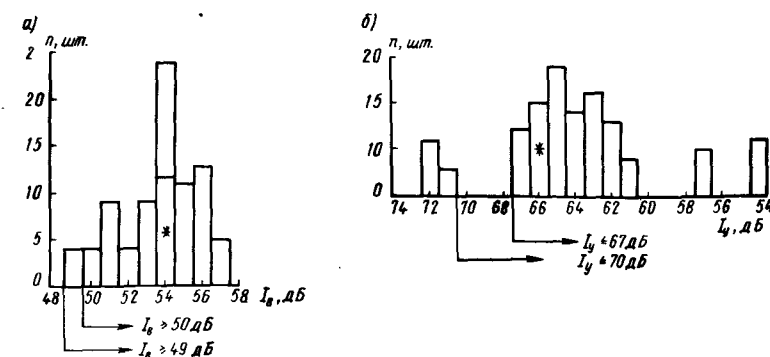


Рис.57. Гистограммы индексов изоляции воздушного шума (а) и приведенного ударного шума (б) перекрытиями с отдельным полом в крупнопанельных домах с большим и смешанным планировочным шагом несущих стен (звездочки — то же, что на рис.55)

Т а б л и ц а 32. Звукоизоляционные качества перекрытий
в крупнопанельных домах с большим и со смешанным
планировочным шагами несущих стен

Перекрытие	п, шт.	$q_{ср}$, кг/м ²	$I_{в}^{ср}$, дБ	$I_{у}^{ср}$, дБ
С раздельным полом, запроектированное по нормам, действовавшим до 1971 г. [52]	73	302	53,7	63,5
Из панелей толщиной 16 см и полом на мягкой подоснове	30	400	50	65,5

показывает, что с переходом на акустически однородные перекрытия с панелями толщиной 16 см увеличилась средняя поверхностная плотность и ухудшились средние индексы звукоизоляции. При этом, однако, достигнута экономия трудозатрат на устройство полов.

При использовании для устройства межквартирных стен железобетонных панелей толщиной 16 см, взамен применявшихся ранее панелей толщиной 14 см, обеспечивается выполнение действующего нормативного требования по звукоизоляции при условии правильного решения скрытой электропроводки (без сквозных отверстий). При этом же условии панели из легкого бетона плотностью 1500 кг/м³ обеспечивают требуемую звукоизоляцию при толщине 20 см, а плотностью 1800 кг/м³ — при толщине 18 см.

Резерв снижения массы и толщины железобетонных стен заключается в применении бетонов на пористых заполнителях с повышенным модулем упругости, а также с повышенным коэффициентом потерь по сравнению с таковым для тяжелых бетонов, например шлакопемзобетона.

При корректировке новых проектов ЦНИИЭП жилища по результатам экспериментальной проверки в домах-представителях в них предусмотрена усовершенствованная система скрытой электропроводки без сквозных отверстий.

Обязательным условием соответствия нормативным требованиям звукоизоляции жилых помещений от лестничной клетки, общего коридора или холла является уплотнение притвора двери. Наиболее эффективная защита жилых комнат от ударных шумов, возникающих на лестнице, — отделение их от лестничных клеток вспомогательными помещениями квартир. В случае примыкания жилых помещений к лестничной клетке изоляция ударного шума в большинстве случаев неудовлетворительна. Требуются специальные меры по снижению уровня ударных шумов или интенсивности их передачи (устройство мягких покрытий ступеней и площадок, увеличение их массивности, отделение лестницы от конструкций, ограждающих жилые помещения).

Глава IV

КОНСТРУКТИВНЫЕ ПРИЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДЕНИЙ

Принимаемое в типовом проекте жилого дома решение внутренней ограждающей конструкции есть результат комплексного процесса конструирования, отдельные этапы которого рассмотрены выше. Как отмечалось, общие задачи народнохозяйственного и экономического характера, поставленные перед жилищным строительством, выдвигают определенные условия перед проектировщиками при оптимизации проектного решения. Ниже рассматриваются приемы конструирования основных элементов и деталей внутренних ограждений, направленные на надежное обеспечение звукоизоляции, и особенности, связанные с условиями их применения в зданиях различных конструктивно-планировочных систем, индустриальной базой домостроения и экономическими требованиями.

Выбор типов межквартирных и межкомнатных стен и перегородок определяется в первую очередь конструктивно-планировочной структурой здания. В крупнопанельных, крупноблочных, монолитных зданиях наиболее целесообразны акустически однородные межквартирные несущие стены из бетона. Их применение позволяет обеспечить надежную звукоизоляцию, минимизировать денежные и трудовые затраты. Такие стены эффективны также в кирпичных домах. Бетонные элементы акустически однородных межквартирных стен нужно проектировать из плотного бетона без сквозной межзерновой пористости. В случае применения крупнопористых бетонов необходимо предусматривать наружные слои из плотного бетона или раствора, а у кирпичных стен — штукатурку с двух сторон. Межкомнатные акустически однородные стены из бетонных несущих элементов применяют в крупнопанельных домах с малым планировочным шагом несущих стен. Как правило, их конструктивные параметры определяют из условий несущей способности, а не звукоизоляции.

Для снижения материалоемкости акустически однородных бетонных стен целесообразно изготавливать сборные элементы с круглыми пустотами, что позволяет уменьшить расход бетона на 15–20% при сохранении звукоизоляционных качеств конструкции. Технология производства многпустотных элементов

стен с ровной верхней (получаемой при изготовлении) поверхностью освоена на комбинате железобетонных изделий № 355 в Москве. Эти сборные элементы предназначены для крупнопанельных жилых домов серий 4570/63, 4570—73/75.

Расход бетона может быть снижен до 30% при изготовлении элементов с пустотами, заполненными сыпучим материалом (кварцевым песком, керамзитом, шлаком и т.п.). Чтобы получить дополнительный звукоизоляционный эффект, определяемый повышенным коэффициентом потерь сыпучего материала, площадь сечения заполненных им пустот должна быть не меньше 25% площади сечения плиты, предельная крупность сыпучего материала — не более 20 мм. В настоящее время в ЦНИИЭП жилища разрабатывают способы изготовления конструкций с пустотами, заполненными сыпучим материалом, в одном технологическом цикле, например с использованием метода подвижных щитов или пустообразователей в виде пленочных пакетов, заполненных сыпучим материалом. При оценке целесообразности применения пустотных элементов в акустически однородных стенах следует учитывать их, как правило, большую толщину, по сравнению со сплошной конструкцией из того же бетона.

Снижение поверхностной плотности акустически однородных межквартирных стен на 20—30% возможно при использовании для их изготовления легких бетонов на пористых заполнителях. Однако толщина межквартирных стен оказывается несколько больше по сравнению с конструкциями из тяжелого бетона. Замена тяжелого бетона бетоном на пористых заполнителях в межкомнатных несущих стенах возможна и без увеличения толщины. При этом снижение поверхностной плотности конструкции может достигать 40%.

Возможности повышения звукоизоляционной эффективности однородных конструкций из бетона на пористых заполнителях заключаются в увеличении модуля упругости материала при заданной плотности, что может быть достигнуто соответствующим подбором состава бетона. Так, при увеличении модуля упругости керамзитобетона плотностью 1500 кг/м^3 на 25% с $1,1 \cdot 10^{10}$ до $1,3 \cdot 10^{10}$ Па уменьшается требуемая толщина межквартирной стены на 2 см. Перспективно применение тех видов легкого бетона, которые имеют повышенный по сравнению с тяжелым бетоном коэффициент потерь, например шлакопемзобетона. Увеличение в 1,4 раза коэффициента потерь ограждения из бетона плотностью 1800 кг/м^3 приводит к снижению требуемой толщины межквартирной стены на 2 см.

В зданиях большинства конструктивно-планировочных систем, за исключением крупнопанельных с малым планировочным шагом несущих стен и из объемных блоков, применяют ненесущие межкомнатные, а в отдельных случаях и межквартирные перегородки. Наиболее распространены межкомнатные перегородки в виде акустически однородных элементов из бетона на

пористых заполнителях. Способы конструирования таких перегородок те же, что и несущих бетонных стен, за исключением устройства стыков (см. ниже).

Многослойные легкие межкомнатные перегородки в нашей стране начинают применять только в экспериментальном строительстве. Такие перегородки нужно конструировать с учетом следующих положений. В качестве наружных слоев (обшивок) перегородок целесообразно применять как можно более тонкие листы или плиты из материалов, отличающихся низким отношением модуля упругости к плотности. Один из материалов, отвечающих этим требованиям, — гипс. При необходимости увеличения поверхностной плотности обшивок следует увеличивать число слоев тонких листов или плит, но не их толщину. Слои в обшивке не следует склеивать между собой: при данной поверхностной плотности жесткости обшивки должна быть минимальной.

При выборе материала и конструкции каркаса следует учитывать, что в порядке возрастания звукоизоляционной эффективности они располагаются так: одинарный каркас из деревянных брусков, одинарный каркас из тонкого стального профиля, двойной каркас из деревянных брусков, двойной каркас из тонкого стального профиля. Одинарный каркас из стального профиля с пружинным элементом и продольными вырезами посередине системы фирмы БПА (Швеция) почти равноценен двойному стальному каркасу. Для заполнения полости перегородки следует использовать пористо-волоконистые звукопоглощающие материалы (минераловатные или стекловолоконистые).

Межквартирные ненесущие перегородки целесообразно проектировать акустически неоднородными, так как это позволяет уменьшить нагрузку на перекрытия. Наиболее распространены двойные перегородки из легкогобетонных, чаще всего гипсобетонных панелей. При конструировании таких перегородок толщину воздушного промежутка следует принимать не менее 4 см, чтобы была гарантия от возникновения жестких контактов между панелями по полю ограждения.

Конструирование двойных внутренних стен в зданиях из объемных блоков требует экспериментального уточнения задаваемых параметров. При этом нужно учитывать влияние на звукоизоляцию помещений числа и расположения жестких связей между блоками, фактической интенсивности косвенной передачи звука. В осях межквартирных стен следует предусматривать вертикальные диафрагмы, препятствующие распространению звука по промежутку между блоками из зоны одной квартиры в зону другой. Дверные коробки во внутриквартирных стенах и их примыкания к стенкам блоков нужно проектировать так, чтобы исключить возникновение при эксплуатации щелей, через которые звук из помещений может проникать в пространство между блоками. Для этого следует предусматривать в проекте уплотнение зазоров между коробкой и стенками блоков герметизирующим материалом.

Внутренние стены, разделяющие жилые и встроенные шумные помещения, предпочтительно проектировать двойными с полным разобщением их элементов и примыкающих со стороны каждого помещения конструкций. В случае применения для таких ограждений акустически однородных элементов должны быть предусмотрены меры по снижению интенсивности косвенной передачи звука по примыкающим конструкциям. Обеспечение требуемой звукоизоляции в этом случае должно быть проверено экспериментально.

Все элементы внутренних стен и перегородок следует проектировать так, чтобы в них не было и не возникало при эксплуатации сквозных щелей и трещин.

При проектировании межквартирных стен и перегородок в крупнопанельных домах может быть использован планировочный прием повышения их звукоизоляционной эффективности в том случае, если соседние жилые помещения или кухни занимают только часть площади разделяющей их панели. Остальная часть панели должна быть изолирована от непосредственного воздействия бытовых шумов. Она может располагаться, например, за объемной санитарно-технической кабиной или в пределах кладовой. На этом участке с панелью не должны стыковаться другие несущие стены. При соблюдении указанных условий поверхностная плотность межквартирной стены может быть снижена. Например, если отношение полной длины панели из тяжелого бетона к длине разделяемых помещений составляет 1,4, то ее толщина может быть уменьшена с 16 до 14 см при сохранении требуемой звукоизоляции.

Выбор типа пола в перекрытии зависит от конструкции несущей части и конструктивно-планировочной структуры здания. Для надежного обеспечения звукоизоляции при недостаточно массивных несущих элементах перекрытия наиболее целесообразно применение раздельных полов на звукоизоляционной прослойке. Их использование позволяет решить такие технические и экономические задачи, как снижение поверхностной плотности перекрытий и расхода бетона и арматуры, уменьшение нагрузки на другие конструкции здания.

Раздельный пол не должен иметь жестких связей с несущей частью перекрытия, стенами и другими конструкциями здания. Следует предусматривать отделение деревянного пола или бетонного основания пола по контуру от стен и других конструкций зазором шириной 1—3 см, заполненным звукоизоляционным материалом. Плинтусы или галтели следует крепить только к полу или только к стене. Если бетонное основание пола устраивается на строительстве монолитным, то звукоизоляционная прослойка должна быть предохранена от увлажнения и проникания раствора в стыки и поры укладкой сплошного слоя водонепроницаемой бумаги, пленки или другого подобного материала с переклеиванием в стыках.

Звукоизоляционную прослойку устраивают в виде сплошного слоя или полосовых прокладок. Последние применяют при сборном основании пола для уменьшения расхода звукоизоляционного материала, а также при наличии ребер или лаг. Полосовые прокладки шириной 10—20 см должны быть расположены по контуру помещения и параллельно одной из его сторон с шагом 30—70 см в зависимости от конструктивных особенностей несущей части перекрытия и пола. Если есть ребра или лаги, то прокладки располагают вдоль их осей. Суммарная площадь, через которую передается нагрузка на полосовые прокладки, должна быть не меньше 20% площади пола.

Основные конструктивные параметры пола, которые влияют на его звукоизоляционную эффективность при заданной несущей части перекрытия, — это поверхностная плотность, динамическая линейная жесткость и демпфирующие свойства звукоизоляционной прослойки, средняя толщина промежутка между полом и несущей частью. Повысить звукоизоляционный эффект в результате устройства пола можно, увеличивая его поверхностную плотность, среднюю толщину промежутка между полом и несущей частью перекрытия, уменьшая динамическую линейную жесткость звукоизоляционной прослойки, а также применяя засыпки из песка, шлака и т.п. в дополнение к основному звукоизоляционному материалу. При проектировании звукоизоляционной прослойки следует отдавать предпочтение малодеформируемым материалам с низким динамическим модулем упругости (жесткие и полужесткие минераловатные плиты, мягкие древесноволокнистые плиты, плиты из пенополистирола).

Слоистые полы, в которых материал покрытия пола (штучный, ковровый паркет, линолеум и т.д.) уложен непосредственно по звукоизоляционной прослойке без промежуточного жесткого основания, целесообразно применять при достаточно массивных элементах перекрытия, если нет необходимости в улучшении изоляции воздушного шума. Слоистый пол с покрытием из паркета должен быть отделен по контуру от стен и других конструкций здания зазором шириной 0,5—1,5 см. Зазор заполняют полутвердой или мягкой древесноволокнистой плитой или другим подобным материалом. Крепление плинтусов или галтелей такое же, как при раздельном поле.

Акустически однородное перекрытие из массивных несущих элементов с покрытием из линолеума на мягкой подоснове — наиболее простая конструкция, характеризующаяся малой трудоемкостью. Однако в крупнопанельных домах с малым планировочным шагом несущих стен обеспечение нормативной звукоизоляции таких перекрытий связано со значительным увеличением расхода бетона. При замене перекрытий с деревянными раздельными полами на акустически однородные в здании такой конструктивно-планировочной структуры расход бетона на изготовление перекрытий возрастает в 1,5—1,9 раза.

В домах с малым планировочным шагом поперечных несущих стен возможно применение комплексных панелей перекрытий, изготавливаемых в одном технологическом цикле и состоящих из несущей плиты, сплошного звукоизоляционного слоя и легкобетонного основания пола, которое допускает укладку любого покрытия, в том числе бесшовного линолеума. Для звукоизоляционной прослойки таких панелей следует выбирать малодеформируемые материалы (пенополистирол, жесткие минераловатные плиты и т.п.). Звукоизоляционную прослойку комплексной панели следует предохранять от увлажнения и проникания раствора в стыки и поры водонепроницаемой бумагой, пленкой или другим подобным материалом, располагая их сверху и снизу.

В зданиях с большим планировочным шагом несущих стен применение акустически однородных перекрытий связано с меньшим увеличением расхода бетона, чем в домах с малым планировочным шагом. При замене деревянных полов линолеумом на теплозвукоизолирующей подоснове увеличение бетоноемкости перекрытий составляет около 35%. Для устройства таких перекрытий целесообразно использовать железобетонные плиты с круглыми пустотами. Замена сплошных железобетонных плит толщиной 16 см многпустотными с приведенной толщиной бетона около 16 см при сохранении требуемых звукоизоляционных качеств и с тем же расходом бетона, позволяет уменьшить расход арматурной стали примерно на 25%.

Уменьшение расхода бетона в таких перекрытиях возможно при заполнении пустот в плитах песком, шлаком, керамзитом и т.п.

При конструировании междуэтажных перекрытий зданий из объемных блоков необходимо экспериментальное уточнение их параметров с учетом влияния жестких связей между элементами двойного перекрытия, фактической интенсивности косвенной передачи звука и других параметров. В уровне междуэтажных перекрытий следует предусматривать диафрагмы, препятствующие распространению звука между блоками в вертикальном направлении.

Для надежной звукоизоляции смежных помещений при эксплуатации здания большое значение имеют звукоизоляционные качества стыков между сборными элементами ограждений.

Основная задача при конструировании стыков внутри здания, связанная со звукоизоляцией, — обеспечение таких условий их работы, при которых во время эксплуатации в них не будут образовываться сквозные трещины, щели.

Если возможны взаимные перемещения стыкуемых элементов под воздействием нагрузок, температурных деформаций, неравномерной осадки конструкций и других факторов, то следует предусматривать уплотнение зазора в стыке герметизирующим материалом, который способен деформироваться, следуя за перемещениями стыкуемых элементов, и сохранять при этом плотность соединения.

При проектировании стыков нужно предусматривать возможность менять герметизирующий материал после истечения срока его службы. Размеры полости в стыке, предназначенной для расположения герметизирующего материала, и поперечные размеры уплотняющего шнура или прокладки выбирают так, чтобы обеспечить определенное их обжатие (пороизола или гернита на 30—50%, прокладок из пенополиуретана на 40—80%).

Стыки между несущими элементами внутренних стен проектируют, предусматривая заполнение их раствором или бетоном. Сопрягаемые поверхности сборных элементов должны образовывать в стыке полость (колодец), поперечные размеры которой гарантируют плотное заполнение ее монтажным бетоном или раствором на всю высоту элемента. Предусматривают меры, ограничивающие взаимное перемещение стыкуемых элементов (устройство шпонок и др.). Соединительные детали, выпуски арматуры и т.д. следует располагать так, чтобы они не препятствовали заполнению полости стыка бетоном или раствором.

Панель внутренней стены заводят в паз или в стык между элементами наружной стены и стык замоноличивают. При свободном примыкании элементов внутренних стен к наружным необходимо уплотнение зазоров в стыке герметизирующим материалом.

Несущие элементы перекрытий следует опирать на внутренние и наружные стены или заводить в них на глубину не менее 4 см. Если это невозможно, то зазоры в примыкании несущих элементов перекрытия к стенам нужно уплотнить герметизирующим материалом.

Стыки между сборными элементами междуэтажного перекрытия в пределах помещения надежно замоноличивают для предупреждения образования сквозных трещин, либо уплотняют герметизирующим материалом. Зазоры в месте примыкания к потолку или несущим стенам ненесущих элементов акустически однородных и двойных перегородок уплотняют герметизирующим материалом.

При проектировании инженерного оборудования квартир важно предусмотреть меры, предупреждающие образование сквозных щелей в межквартирных ограждениях. Нельзя пропускать через межквартирные стены трубы водяного отопления, водоснабжения и другие. Проводить их через междуэтажные перекрытия и межкомнатные стены следует в эластичных гильзах (из асбестового шнура, асбестового картона и др.), допускающих температурные перемещения и деформации труб без образования сквозной щели. Возможна установка труб с компенсаторами температурных и других деформаций, исключаящими нарушение их монолитной заделки в несущих элементах перекрытий и в стенах. При этом следует использовать безусадочный раствор или бетон. Особенно надежно нужно уплотнять место пропуска трубы через перекрытие с полом из линолеума

на мягкой подоснове, в котором отсутствует дополнительная преграда для проникновения звука в виде раздельного пола и звукоизоляционной прослойки. В случае пересечения перекрытий с раздельным полом трубой нельзя допускать, чтобы она жестко соединяла пол с несущей частью перекрытия.

Полости в панелях внутренних стен, в которых соединяются замоноличенные в них трубы, нужно заполнять безусадочным бетоном или раствором. В случае установки труб-стояков водоснабжения и канализации в вертикальной шахте, в ней предусматривают горизонтальные диафрагмы в уровне междуэтажных перекрытий, препятствующих распространению шума по шахте.

При проектировании электропроводки предпочтение следует отдавать таким системам, которые не требуют устройства в конструкциях отверстий для пропуска проводов и размещения распаячных коробок, штепсельных розеток, выключателей. При проектировании скрытой электропроводки в межквартирных стенах и перегородках нужно предусматривать расположение проводки для каждой квартиры в отдельных каналах или штрабах, а распаячных коробок и штепсельных розеток — в несквозных полостях. Если образование сквозных отверстий обусловлено технологией изготовления элементов стены, то указанные приборы устанавливают в них только с одной стороны. Оставшуюся полость заполняют звукопоглощающим материалом (например, минеральной ватой) и заделывают с другой стороны гипсовым раствором слоем толщиной не менее 40 мм.

В межкомнатных несущих стенах из железобетонных плит, толщина которых определена по несущей способности, с индексом звукоизоляции, более чем на 2 дБ превышающим нормативный, допускается двусторонняя установка распаячных коробок, штепсельных розеток и выключателей в сквозных отверстиях. При этом полости в них также заполняют звукопоглощающим материалом. В межкомнатных ненесущих перегородках распаячные коробки и штепсельные розетки нужно устанавливать в несквозных полостях.

При расположении скрытой электропроводки в каналах несущей плиты междуэтажного перекрытия полости для перевода провода из перекрытия в стену должны быть замкнутыми и не создавать сквозных путей для прохождения звука в вертикальном (через перекрытие) и в горизонтальном направлении (через стену). Вывод провода из перекрытия к потолочному светильнику следует предусматривать в несквозной полости. Если образование сквозного отверстия для этой цели обусловлено технологией изготовления плиты перекрытия, то оно по длине должно состоять из двух участков разного сечения. Верхний участок отверстия большого диаметра, в котором крепят крюк для подвески светильника, заделывают безусадочным раствором, нижний — заполняют звукопоглощающим материалом (например, антисептированной паклей) и заделывают снизу раствором после монтажа электропроводки.

Список литературы

1. Башлай К.И., Крейтан В.Г. Опыт улучшения звукоизоляции внутренних стен из многослойных панелей. — В кн.: Борьба с шумами и вибрациями. М., 1966.
2. Бобылев В.Н. Звукоизоляция однослойных ограждающих конструкций на частотах, ниже граничной. — Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Горький, 1974 (ГИСИ им. В.П. Чкалова).
3. Винокур Р.Ю., Лалаев М.З. Об ухудшении звукоизоляции между помещениями в зданиях, содержащих вертикальные уступы. — Материалы IX Всесоюзной акустической конф. М., 1977.
4. ГОСТ 15116—69. Звукоизоляция. Методы измерения. Показатель звукоизоляции.
5. Заборов В.И. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций. М., 1969.
6. Заборов В.И. Звукоизоляция ограждений со щелями и отверстиями. — В кн.: Звукоизолирующие и звукопоглощающие конструкции в практике борьбы с шумами. Л., 1977.
7. Захаров А.В. Вопросы распространения корпусных шумов в зданиях. — Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. М., 1966 (МИСИ им. В.В. Куйбышева).
8. Здания из объемных блоков / Ю.Б. Монфред, Н.А. Николаев, В.Г. Бердичевский и др. М., 1974.
9. Инструкция по проектированию и контролю звукоизоляции ограждающих конструкций жилых зданий ВСН 25—76, М., 1977. Госгражданстрой
10. Клюкин И.И. Борьба с шумами и звуковой вибрацией на судах. Л., 1971.
11. Ковригин С.Д., Захаров А.С., Герасимов А.И. Борьба с шумами в гражданских зданиях (ударные и структурные шумы). М., 1969.
12. Ковригин С.Д., Терзибашьянц М.С., Стаукис В.К. Об акустических мостиках в междуэтажных перекрытиях. — Жилищное строительство, 1973, № 10.
13. Ковригин С.Д., Маслов А.А., Осадчиев В.М. Изоляция ударного шума акустически однородными перекрытиями. — Материалы IX Всесоюзной акустической конф. М., 1977.
14. Крейтан В.Г. Экспериментальное определение параметров акустически однородных перекрытий в крупнопанельном доме. — В кн.: Звукоизоляция ограждающих конструкций жилых и общественных зданий. М., 1969 (НИИСФ).
15. Крейтан В.Г., Никольский В.Н. Звукоизоляция новых типов междуэтажных перекрытий жилых домов. — В кн.: Успехи строительной физики. М., 1970 (НИИСФ).
16. Крейтан В.Г., Рудерман Б.Г. Об изменении во времени звукоизоляционных качеств междуэтажных перекрытий. — Тезисы докл. XII Всесоюзной акустической конф. Л., 1971.
17. Крейтан В.Г., Рассохин И.А. Устройство электропроводки и звукоизоляция межквартирных стен. — Жилищное строительство, 1971, № 9.
18. Крейтан В.Г. Звукоизоляция легкобетонных внутренних стен жилых зданий. — Жилищное строительство, 1971, № 6.
19. Крейтан В.Г. Практические методы расчета звукоизоляции ограждающих конструкций. — В кн.: Звукоизоляция элементов жилых домов. М., 1972 (ЦНИИЭП жилища).
20. Крейтан В.Г. Применение звукоизоляционных материалов в междуэтажных перекрытиях. — В кн.: Звукоизоляция элементов жилых домов. М., 1972 (ЦНИИЭП жилища).
21. Крейтан В.Г., Щаников Ю.М. Влияние жестких связей на звукоизоляцию перекрытий с раздельным полом. — Рефераты докл. XIII Всесоюзной акустической конф. М., 1973.

22. Крейтан В.Г. Звукоизоляция перекрытий в домах с малым планировочным шагом несущих стен. — Жилищное строительство, 1974, № 10.
23. Крейтан В.Г., Рассохин И.А., Рудерман Б.Г. Звукоизоляция ограждающих конструкций крупнопанельных домов новых серий. — В кн.: Звукоизоляция и борьба с шумами в жилых домах. М., 1975 (ЦНИИЭП жилища).
24. Крейтан В.Г. Звукоизоляция акустически однородных перекрытий в крупнопанельных жилых домах. В кн.: Конструкции крупнопанельных жилых домов. М., 1976 (ЦНИИЭП жилища).
25. Крейтан В.Г., Полтавцев С.И. Исследование динамических характеристик сыпучих материалов. — Жилищное строительство, 1976, № 8.
26. Крейтан В.Г. Расчет звукоизоляции. Ч.1. Звукоизоляция от воздушного шума — Жилищное строительство, 1977, № 9.
27. Крейтан В.Г. Расчет звукоизоляции конструкций. Ч.2. Звукоизоляция от ударного шума. — Жилищное строительство, 1978, № 2.
28. Крейтан В.Г. Практический метод учета косвенной передачи звука (экспериментальная проверка). — Материалы IX Всесоюзной акустической конф. М., 1977.
29. Лалаев З.М. О влиянии рулонных полов на звукоизолирующую способность перекрытий. — В кн.: Борьба с шумами и вибрациями. М., 1966.
30. Лалаев З.М., Русин Ю.М. Звукоизоляционные свойства узлов опирания панельных перекрытий на стены. — В кн.: Борьба с шумами и вибрациями. М., 1966.
31. Мартынов В.Т. Исследование прохождения звука по элементам строительных конструкций. — Автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. М., 1971 (МИСИ им. В.В. Куйбышева).
32. Магаев Е.М. Ускоренная оценка изменения в процессе эксплуатации звукоизоляции междуэтажных перекрытий с полами по упругим прокладкам. — Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. М., 1975 (МИИТ).
33. Никольский В.Н., Заборов В.И. Звукоизоляция крупнопанельных зданий. М., 1964.
34. Никольский В.Н., Тимофеев Л.П. Звукоизоляция зданий из блочных элементов. — Жилищное строительство, 1968, № 11.
35. Осипов Г.Л. Защита зданий от шума. М., 1972.
36. Покотило М.Г. Исследование звукоизоляции перекрытий с рулонными полами. — Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. М., 1972 (МИИТ).
37. Пособие по проектированию и расчету шумоглушения строительно-акустическими методами. М., 1973.
38. Пособие по проектированию ограждающих конструкций зданий. М., 1967.
39. Рекомендации по обеспечению нормативной звукоизоляции ограждающих конструкций жилых зданий. М., 1972 (ЦНИИЭП жилища).
40. Рекомендации по применению звукоизоляционных материалов в междуэтажных перекрытиях жилых зданий. М., 1972 (ЦНИИЭП жилища).
41. Руководство по решению звукоизоляции перегородок и перекрытий жилых зданий. М., 1965 (НИИСФ).
42. Рудерман Б.Г. Звукоизоляция акустически однородных перекрытий из многослойных настилов. — В кн.: Звукоизоляция элементов жилых домов. М., 1972 (ЦНИИЭП жилища).
43. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справ. руководство. М., 1971.
44. Санитарные нормы допустимых вибраций в жилых домах № 1304—75. М., 1975 (Министерство здравоохранения СССР).
45. Седов М.С. Звукоизоляция тонких однослойных ограждений от воздушного звука. — Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. М., 1964 (МИСИ им. В.В. Куйбышева).
46. Седов М.С. Звукоизоляция облегченных ограждающих конструкций

- зданий. — Автореф. дис. на соиск. учен. степени докт. техн. наук. М., 1972 (МИСИ им. В.В. Куйбышева).
47. Седов М.С. Звукоизоляция однослойных ограждений с упругой заделкой краев в области частот выше граничной. — В кн.: Звукоизоляция конструкций зданий. — Труды Горьковского инж.-строит. ин-та им. В.П. Чкалова. Горький, 1974, выпуск 71.
48. Сливак Н.Я., Крейтан В.Г., Осипов Г.Л. Звукоизоляция ограждающих конструкций крупнопанельных жилых зданий. М., 1965.
49. Справочник инженера-конструктора жилых и общественных зданий. М., 1975.
50. Справочник проектировщика. Защита от шума. Под ред. Е.Я. Юдина. М., 1974.
51. Стены типа БПА. Акционерное общество БПА Бюгпродукшун АБ, Стокгольм, 1975.
52. СНиП II—В.6—62. Ограждающие конструкции. Нормы проектирования. М., 1963.
53. СНиП II—Л.1—71. Жилые здания. Нормы проектирования. М., 1971.
54. СНиП II—12—77. Защита от шума. М., 1978.
55. Тимофеев Л.П. Некоторые вопросы звукоизоляции зданий из объемных блоков. В кн.: Звукоизоляция конструкций жилых и общественных зданий. М., 1969 (НИИСФ).
56. Терзибашьянц М.С. Изоляция ударного шума междуэтажными перекрытиями с полами по упругим прокладкам. — Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. М., 1974 (МИСИ им. В.В. Куйбышева).
57. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. М., 1972.
58. Юдин Е.Я., Осипов Г.Л. Звукоизоляционные и звукопоглощающие материалы. М., 1966.
59. Bhattacharya M.C., Crocker M.J. Forced vibration of a panel and radiation of sound into a room. *Acustica* 1969/70, vol. 22, № 5.
60. Gremer L. Theorie der Schalldämmung dünner Wände bei schrägem Einfall. *Akust. Zeitschrift*, 1942, № 7.
61. Det bullerfria huset. *Reduc Acoustics A.B., Sundbyberg*, 1977.
62. Fortun E. Wohnungsbau / Einsatz von elastischen Bodenbelägen mit akustisch wirksamen Unterlagen sowie Teppichböden auf Massivplattendecken ohne Einbau eines schwimmenden Estrichs. *Zbornik prednášok Podlahy 77, Československa vedeckotechnická spoločnosť, Strbské Pleso*, 1977.
63. Gösele K., Jehle R. Verbesserung der Schalldämmung von Doppelwänden aus biegesteifen Schalen. *Bauzeitung*, 1959, № 7, 9.
64. Gösele K. Zur Luftschalldämmung von einschaligen Wänden and Decken. *Acustica* 1968, Vol. 20, № 6.
65. Gösele K. Schalldämmung von Montagewänden. *Bundes Baublatt*, 1972, № 5.
66. Gomperts M.C., Kihlman, T. The sound transmission loss of circular and slit-shaped apertures in walls. *Acustica*, 1967, vol. 18, № 4.
67. Gipsskivor pa trästomme. Klassificering av väggar, Stockholm, Gyproc, 1975.
68. Gipsskivor pa stalreglar. Klassificering av väggar Stockholm, Gyproc, 1972.
69. Heckl M. Die Schalldämmung von homogenen einfachwänden endlicher Fläche. *Acustica*, 1960, vol. 10, № 2.
70. Hofman R. Výsledky experimentálního akustického výskumu pokusných objektů. *Sborník referátů konference Rozvoj lehkých dílů a odlehčených objektů. Vrátná Dolina*, 1975.
71. Ingerslev F., Nielsen R. On the transmission of sound through small apertures and narrow slits. Publ. № 1 from acoustical laboratory of the Academy of Technical Science. Copenhagen, 1944.
72. Josse R. Les parois doubles Utilisées a des fins acoustiques. *Cahiers du Centre scientifique et technique du bâtiment*, 1966, № 80.
73. Kihlman T. Sound radiation into a rectangular room Applications to airborne sound transmission in buildings. *Acustica*, 1967, vol. 18, № 1.
74. March G.A. The airborne sound insulation of glass. *Applied Acoustics*, 1971, vol. 4, № 3.

75. Mulholland. Sound insulation measurements of double plasterboard panels with various infills. Applied Acoustics, 1971, vol. 4, № 1.

76. Noise reduction. Edited by L.L. Beranek Mc Grow-Hill Book Company, Inc. 1960.

77. Oberst H. Werkstoffe mit extrem hoher innerer Dämpfung. Acustica, 1959, vol. 6.

78. Ross D., Kerwin E.M., Dyer I. Flexural vibration damping of multi-layer plates. Rept. 565, prepared for the Office of Naval Research by Bolt Beranek and Newman Inc., 1958.

79. Sadowski J. Ochrona przeciwdźwiękowa w budownictwie mieszkaniowym. Własności acustyczne przegród budowlanych. Wydawnictwo Arkady. Warszawa, 1965.

80. Vrána J. Zvukové izolační vlastnosti podlah pro lehké stropní konstrukce. Zborník prednášok Podlahy 77. Československá vedeckotechnická spoločnosť, Strbske Pleso, 1977.

81. Watters B.G. Transmission loss of some masonry walls. The Journal of the Acoustical Society of America, 1959, vol. 31, № 7.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Г л а в а I. Учет влияния на звукоизоляцию конструктивных и планировочных параметров при поиске оптимальных проектных решений	5
1. Нормируемые характеристики звукоизоляции, их связь с параметрами, изменяемыми при проектировании	5
2. Влияние характеристик конструкций и материалов ..	9
3. Влияние конструктивной и планировочной структуры здания	41
4. Влияние изменяющихся во времени характеристик материалов и конструкций	49
5. Влияние элементов ограждений, связанных с инженерным оборудованием	58
6. Практические методы выбора конструктивных параметров ограждений	60
Г л а в а II. Экспериментальное уточнение конструктивных параметров новых типов ограждений	74
7. Конструкции из легких бетонов на пористых заполнителях	76
В. Ограждения из элементов с пустотами	86
9. Перекрытия с покрытиями пола на мягкой подоснове	95
10. Перекрытия с отдельными и слоистыми полами на звукоизоляционной прослойке	107
Г л а в а III. Натурная проверка обеспечения звукоизоляции в проектных решениях в домах—представителях новых проектов	125
11. Крупнопанельные дома с малым шагом несущих стен	126
12. Крупнопанельные дома со смешанным шагом несущих стен	135
13. Кирпичный дом с наружными стенами из легких навесных панелей	145
14. Изоляция жилых помещений от лестниц и коридоров	149
15. Общая оценка конструктивных решений внутренних ограждений в новых проектах жилых домов	153
Г л а в а IV. Конструктивные приемы обеспечения звукоизоляции ограждений	160
Список литературы	168